

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magister en : Architecture
Option : Ville et Architecture Au Sahara

**L'effet de la baie vitrée sur le confort thermique dans
l'espace de bureau en climat chaud et sec.**
Cas des immeubles de bureaux contemporains à Béchar

Présenté par :
TAHARI Ahmed

Soutenu publiquement le 18/09/2018

Devant le jury composé de :

Dr. SRITI Leila	M.C.A	Présidente	Université de Biskra
Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Rapporteur	Université d'Oum El Bouaghi
Dr. BOUZAHER Soumia	M.C.A	Examinatrice	Université de Biskra

Remerciements

Tout d'abord, je remercie vivement Monsieur le professeur **Mazouz Said**, d'avoir accepté de diriger cette étude, de sa grande patience, malgré ses charges, de ses orientations et corrections, depuis l'affleurement et l'affinement du sujet jusqu'aux résultats.

J'exprime mes remerciés aussi, aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer et d'examiner ce travail de recherche, Mme **Sriti Leila** la présidence du jury, et l'examinatrice Mme **Bouzaher Soumia**.

J'exprime toute ma gratitude à **Daifallah Abdelhakim**, et **Berrachid Abdellah**, gérants BET EL TAH'YAA pour leurs aides et soutiens logistiques.

Je tiens à remercier beaucoup mes amis, **Sahli. A**, **Ziani. A** et **Radjaa. A** pour leurs conseils et visions scientifiques.

Un grand remerciement à mes frères **Khelifa Naama** et **Khelifa Djamel**.

Enfin, ma profonde gratitude à tous ceux ou celle, que je n'aurai pu citer, et qui m'aidaient de près ou de loin.

Résumé :

L'insertion du facteur du climat dans la conception architecturale est une étape importante dans le processus de conception. C'est ainsi que, plusieurs architectes chercheurs tels que A. Rapoport (1972), R. Banham (1984) et A. Ravereau (1980) ont montré que ce facteur physique de l'environnement, est un élément déterminant dans la création de la forme bâtie.

À l'image de toutes les villes sahariennes en Algérie, la ville de Béchar comporte un nombre important d'immeubles de bureaux contemporains. L'aspect extérieur de l'architecture de ces édifices contemporains est fortement vitré, et il ne ressemble pas aux formes d'architecture locale. En effet, les architectes de ces édifices visent à exprimer un aspect esthétique de transparence, tout en utilisant les techniques de murs rideaux et les grandes surfaces vitrées en façade.

Dans ce contexte, cette recherche se focalise sur l'étude et l'analyse des rapports entre l'architecture de la baie vitrée et les ambiances thermiques intérieures, dans les immeubles de bureaux, dans un milieu à climat chaud et aride.

Pour élaborer cette étude, nous avons procédé une **enquête in situ**, au niveau de trois immeubles de bureaux contemporains que sont : le siège du tourisme, la direction des travaux publics et la direction d'urbanisme de l'architecture et de la construction. Cette méthode s'est établie à travers les mesures physiques de l'ambiance intérieure, réalisée par des appareils (thermo-hygromètre, thermomètre à infrarouge) et les réponses perceptives et affectives des occupants, collectées à l'aide d'un questionnaire.

Enfin en termes de résultats, nous identifions comment les caractéristiques de la baie vitrée influencent les ambiances thermiques intérieures, affectant par conséquent la sensation de l'utilisateur, au sein de son espace. Ensuite les critères à prendre en compte, pour leur conception dans le climat saharien.

Mots clés : climat chaud et aride, immeubles de bureaux contemporains, confort thermique, baie vitrée, ville de Béchar.

Abstract:

The insertion of the climate factor into the architectural design is an important step in the design process. As well as, several architects researchers such as A. Rapoport (1972), R. Banham (1984) and A. Ravereau (1980) have shown that this physical factor of the environment is a determining factor in the creation of the built form.

Like all Saharan cities in Algeria, the city of Béchar has a large number of contemporary office buildings. The exterior aspect of the architecture of these contemporary buildings, is strongly glazed, and it does not resemble the forms of local architecture. Indeed, the architects of these buildings aim to express an aesthetic aspect of transparency, while using the techniques of curtain walls and large glazed surfaces in facade.

In this context, this research focuses on the study and analysis of the relationship between opening glass wall architecture and indoor thermal environments, in office buildings, in a hot and arid climate.

To develop this study, we had proceeded an **in situ investigation**, at the level of three contemporary office buildings that are: tourism building, the public works building and the building of urban planning and architecture. This method was established through the physical measurements of the indoor environment conducted by measuring devices (thermo-hygrometer, Infrared thermometer) and the perceptive and affective responses of the occupants, collected using a questionnaire.

Finally, in terms of results, we identify how the characteristics of the opening glass wall influence the indoor thermal environment, therefore affecting the user's feeling, within his space. Then the criteria to take into account, for their design in the Saharan climate.

Keywords: hot and arid climate, contemporary office buildings, thermal comfort, opening glass wall, city of Béchar.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	i
Table des matières.....	iii
Table des illustrations.....	ix
Liste des figures :	ix
Liste des tableaux :	xiii
Liste des graphes :	xiv

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction	1
Problématique :	3
Les questions de recherche :	5
Hypothèse :	5
Les objectifs de recherche :	5
Etat de l'art :	5
Méthode d'approche :	7
Structure du mémoire :	7
Schéma de structure du mémoire :	8
Analyse conceptuelle :	9

CHAPITRE I : Le confort thermique dans le bâtiment ; approches et méthodes d'évaluation.

Introduction :	10
I.1. Sur la notion de confort :	11
I.2. Le confort thermique :	11
I.3. L'échange thermique du corps avec l'ambiance :	12
I.3.1 Evaporation d'eau :	12
I.3.2 Convection :	12
I.3.3 Conduction :	12
I.3.4 Rayonnement ou radiation :	13
I.3.5 Le bilan thermique :	13
I.4. Les paramètres affectent le confort thermique :	13
I.4.1 Les facteurs liés à l'individu :	14
I.4.1.1 L'activité métabolique :	14
I.4.1.2 L'isolement vestimentaire :	15
I.4.2 Paramètres liés à l'environnement : le microclimat intérieur du bâtiment	16
I.4.2.1 La température ambiante de l'air (Ta) :	16
I.4.2.2 Humidité relative (Hr) :	16
I.4.2.3 La vitesse de l'air (Va) :	17
I.4.2.4 La température radiante moyenne (Tr) :	18
I.5. Les approches de confort thermique :	19
I.5.1 L'approche analytique :	19
I.5.1.1 Le modèle de Fanger PMV-PPD	20
I.5.1.2 Modèle de Gagge : SET :	21
I.5.2 L'approche adaptative :	22
I.5.2.1 Le projet SCAT's :	23
I.5.2.2 Projet RP-884 :	23

I.6. Les indices d'évaluation de l'ambiance thermique :	24
I.6.1 L'indice de température opérative (résultante) (TR) :	25
I.6.2 L'indice PMV (vote moyen prévisible) :	26
I.6.3 L'indice PPD(Le pourcentage prévisible d'insatisfaits) :	26
I.6.4 L'indice de température effective (TE) :	26
I.7. Les échelles de sensation thermique :	27
I.7.1 Echelle Bedford :	28
I.7.2 L'échelle ASHRAE :	28
I.8. Echelles de jugement subjectif :	28
I.8.1 Echelle de Perception :	29
I.8.2 Echelle de L'évaluation affective :	29
I.8.3 Echelle de Préférence thermique :	29
I.8.4 Echelle de jugement d'acceptabilité ou de tolérance :	30
I.9. Les diagrammes bioclimatiques :	30
I.9.1 Méthode d'Olgay :	31
I.9.2 Méthode de Givoni :	32
I.9.3 Les tables de Mahoney :	34
Conclusion	35

CHAPITRE II : La baie vitrée et l'architecture de verre ; évolution, notions et paramètres thermo-physiques

Introduction	37
II.1. Définition et composition :	38
II.1. Type de verre (produits de base) :	38
II.1.1. Verre clair simple (flotté) :	38
II.1.2. Le verre feuilleté (laminé) :	38
II.1.3. Le verre trempé :	39
II.1.4. Verre armé :	39
II.2. Vitrages isolant :	40
II.2.1. Unité de double vitrage :	40
II.2.2. Vitrage à basse émissivité (haut rendement) :	40
II.2.3. Vitres de contrôle solaire :	41
II.2.3.1. Verre absorbant :	41
II.2.3.2. Verre réfléchissant :	42
II.3. Autres types :	42
II.3.1. Verre de comportement optique modifié :	42
II.3.2. Verre modelés :	42
II.3.3. Le verre imprimé ou coulé :	42
II.3.4. Verre intelligent (actif) :	43
II.4. Les propriétés thermiques des vitrages :	43
II.4.1. Spectre solaire :	43
II.4.2. Transmission lumineuse (facteur lumineux TL) :	44
II.4.3. Transmission énergétique (Facteurs solaire g) :	44
II.4.4. Le coefficient de transmission thermique (U) :	45
II.4.5. Coefficient de transmission thermique U selon la norme EN 673 :	46
II.4.6. L'effet de serre généré par le vitrage :	46

II.4.7. Angle d'incidence du rayonnement sur une paroi vitrée :.....	47
II.5. Le verre en architecture :	48
II.6. Verre et problème d'énergie	51
II.7. Le verre dans l'architecture solaire :	51
II.8. Optimiser la qualité thermique des surfaces vitrées :	54
II.8.1. Qualité du verre	54
II.8.2. Proportion de vitrage	55
II.8.3. Protection solaire	56
II.9. La baie vitrée, définition et évolution :	57
II.10. Les ouvertures dans l'architecture saharienne, (ksour)	59
II.11. Les composants de la baie :	59
II.11.1. Le châssis :	60
II.11.2. Le vitrage :	60
II.11.3. Protection solaire :	60
II.12. Fonctions de la baie de fenêtre :	61
II.12.1. Fonction thermique :	61
II.12.1.1. Ensoleillement (gain de chaleur) :	62
II.12.1.2. Contrôle des apports (protection de la surchauffe).....	62
II.12.1.3. Méthode graphique pour concevoir d'une protection solaire fixe :	63
II.12.2. La fonction visuelle et d'éclairage naturel	64
II.12.3. La fonction acoustique	65
II.13. Coefficient de transmission thermique U_w de la baie de fenêtre :.....	65
II.14. Le coefficient de transmission thermique équivalent U_{eq} :	66
II.15. Le facteur minorant de protection solaire (f):	66
II.16. Le coefficient d'absorption du rayonnement solaire :.....	67
II.17. Facteur d'ombrage :	67
Conclusion :	68

CHAPITRE III : Cas d'étude et méthodologie d'approche

Introduction	69
III.1 Contexte d'étude :	70
III.1.1 Les zones climatiques du Sahara et Pré-Sahara Algérien :.....	70
III.1.2 Lecture bioclimatique de la ville de Béchar :	73
III.1.2.1 Microclimat de Béchar :	73
III.1.2.2 Application des diagrammes bioclimatiques :	73
III.1.2.3 Application Méthode Olgyay :	74
III.1.2.4 Application méthode Givoni :	75
III.1.2.5 Les tables de Mahoney :	75
III.1.2.6 Synthèse :.....	76
III.2 Population d'étude :	76
III.2.1 L'architecture des immeubles de bureau, l'espace bureau :.....	76
III.2.2 Critères de choix des immeubles de bureaux contemporains :.....	77
III.2.3 Les immeubles de bureaux à Béchar :.....	78
III.2.3.1 Période coloniale :	79
III.2.3.2 La période Post-coloniale :	83
III.2.3.3 Période de contemporaine :	86
III.3 Echantillon d'étude :	90

III.3.1 Le premier cas d'étude : le bâtiment du siège de Tourisme et d'artisanat :	90
III.3.2 Deuxième cas d'étude : Direction des travaux publics (DTP) :	93
III.3.3 Troisième Cas d'étude : la direction d'urbanisme, d'architecture et de la construction. (DUAC).	96
III.4 Description de la methodologie adoptée pour l'étude :	99
III.4.1 Les mesures de l'environnement thermique :	99
III.4.2 Le questionnaire :	100
III.4.2.1 Le formulaire de questions :	101
III.4.2.2 Traitement des résultats de questionnaire :	102
III.4.2.3 Les tests statistiques de corrélation :	103
Conclusion :	103

CHAPITRE IV : Les indicateurs subjectifs des usagers dans l'espace bureau.

Introduction :	104
IV.1 Caractéristique de l'espace architectural :	105
Exposition à l'environnement thermique	105
IV.1.1 Le bâtiment Tourisme	105
IV.1.1.1 Emplacement, orientation : (indice topologiques)	105
IV.1.1.2 Type de bureau et protection : indices typologiques	106
IV.1.2 Le Bâtiment DUAC :	107
IV.1.2.1 Emplacement, orientation:(indice topologiques).....	107
IV.1.2.2 Type de bureau et protection : indices typologiques	108
IV.1.3 Le Bâtiment DTP :	109
IV.1.3.1 Emplacement, orientation:(indice topologiques).....	109
IV.1.3.2 Type de bureau et protection : indices typologiques	110
IV.2 Analyse à plat (univariée) :	111
IV.2.1 Aspects généraux : caractéristique de l'utilisateur	112
IV.2.1.1 Attachement au lieu :	112
IV.2.1.2 Préférence souhaitées :	112
IV.2.1.3 Les facteurs défavorables de confort de l'utilisateur :	113
IV.2.1.4 L'expérience, le vécu :	114
IV.2.2 Le Jugement subjectif (été) :	115
IV.2.2.1 Vote de perception et d'évaluation :	115
IV.2.2.2 Vote de préférences :	118
IV.2.3 Le Jugement subjectif (Hiver) :	118
IV.2.3.1 Vote de préférence :	120
IV.2.4 Jugement d'acceptabilité :	120
IV.2.5 Le jugement Evaluatif :	121
IV.2.6 Satisfaction :	124
IV.2.6.1 Confort d'été et confort d'hiver :	124
IV.2.6.2 Dimension de la baie et aération :	125
IV.2.7 Importance :	126
IV.2.8 Les conduites comportementales : adaptation comportementale	127
IV.2.8.1 Les usagers dans le bâtiment DUAC :	127
IV.2.8.2 Les usagers dans le bâtiment DTP :	128
IV.2.8.3 Les usagers dans le bâtiment du siège de Tourisme :	128

IV.2.8.4 Synthèse :	129
IV.3 L'Analyse croisée (Bi variée et multi variée) :	129
IV.3.1 Le bâtiment de la DTP :	130
IV.3.1.1 Orientation de la baie et le vote de sensation en été :	130
IV.3.1.2 Orientation et préférence :	130
IV.3.1.3 Orientation de la baie et jugement d'acceptabilité :	131
IV.3.1.4 Orientation de la baie et satisfaction en été :	132
IV.3.1.5 Dimension de la baie (indice d'ouverture) et vote de perception :	133
IV.3.1.6 Dimension de la baie et préférences de changement :	134
IV.3.1.7 Dimension de la baie et son jugement évaluatif :	135
IV.3.1.8 Dimension de la baie et satisfaction en été et en hiver :	135
IV.3.1.9 Dimension de la baie et le jugement d'acceptabilité :	136
IV.3.1.10 Surface vitrée et le jugement Evaluatif d'une tache solaire :	137
IV.3.1.11 Jugement évaluatif d'une protection intérieure (rideaux) et vote de perception :	138
IV.3.1.12 Protection par les rideaux et jugement d'acceptabilité :	138
IV.3.1.13 Protection par rideaux et satisfaction en été :	139
IV.3.1.14 Jugement de la Protection par les rideaux et préférences :	139
IV.3.1.15 La baie (indice d'ouverture, orientation)et adaptation comportementale :	139
IV.3.1.16 Synthèse :	141
IV.3.2 Bâtiment Tourisme :	142
IV.3.2.1 Orientation de la baie et le vote de sensation en été :	142
IV.3.2.2 Orientation et préférence :	142
IV.3.2.3 Orientation de la baie et jugement d'acceptabilité :	143
IV.3.2.4 Orientation de la baie et satisfaction en été :	143
IV.3.2.5 Dimension de la baie (indice d'ouverture) et vote de perception :	144
IV.3.2.6 Dimension de la baie et préférences de changement :	144
IV.3.2.7 Dimension de la baie et son jugement évaluatif :	145
IV.3.2.8 Dimension de la baie et satisfaction en été et en hiver :	145
IV.3.2.9 Dimension de la baie et le jugement d'acceptabilité :	146
IV.3.2.10 Surface vitrée et le jugement Evaluatif d'une tache solaire :	146
IV.3.2.11 La baie (indice d'ouverture, orientation)et adaptation comportementale :	147
IV.3.2.12 Synthèse :	148
Conclusion :	149

CHAPITRE IV : Les indicateurs objectifs du confort thermique dans l'espace bureau.

Introduction :	150
V.1 Détermination d'une zone de confort :	151
V.2 Technique et protocole de prises de mesures Hygro-Thermiques :	152
V.3 Méthode de détermination des indices PMV, PPD & Top :	153
V.4 Les bureaux sélectionnés pour les mesures :	154
V.4.1 Le cas du bâtiment Tourisme :	154
V.4.2 Le bâtiment DTP :	155
V.4.3 Le bâtiment DUAC :	156
V.5 L'emprise de l'ouverture vitrée à l'espace de bureau :	157
V.6 NIVEAU I : Analyse descriptive :	158
V.6.1 Siège du Tourisme :	158
V.6.1.1 Espace de bureau 01 :	158

V.6.1.2	Espace de bureau 02	160
V.6.1.3	Espace de Bureau 03 :.....	161
V.6.1.4	Espace de bureau 04 :	162
V.6.1.5	Synthèse :	163
V.6.2	Siège de la DTP. Période de mesure : 16 octobre 2016.	164
V.6.2.1	Espace de bureau 01 :	164
V.6.2.2	Espace de Bureau 02 :	165
V.6.2.3	Espace de bureau 05 :	166
V.6.2.4	Espace de bureau 06 :	167
V.6.2.5	Espace de bureau 07 :	168
V.6.3	Bâtiment de la DUAC. (Période de mesure : 18 octobre 2016)	169
V.6.3.1	Espace de Bureau 01 :	169
V.6.3.2	Espace de Bureau 02 :	170
V.6.3.3	Espace de bureau 03 :	171
V.7	NIVEAU II : Analyse corrélative : les dimensions de la baie et les paramètres thermiques mesurés.....	172
V.7.1	Bâtiment du Tourisme : période d'octobre :	172
V.7.1.1	L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (Ta) :	172
V.7.1.2	Le système de protection et la température de l'air intérieur :	174
V.7.1.3	Le type du vitrage et la transmission thermique :	174
V.7.1.4	La surface vitrée et la température moyenne radiante (Tr).....	177
V.7.2	Bâtiment du DTP : période de mi-saison (octobre).....	178
V.7.2.1	L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (Ta) :	178
V.7.2.2	Le système de protection et la température de l'air intérieur :	179
V.7.2.3	Le type du vitrage et la transmission thermique :	180
V.7.2.4	La surface vitrée et la température moyenne radiante (Tr) :	182
V.7.3	Bâtiment DUAC : période de mi-saison (octobre).....	184
V.7.3.1	L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (Ta) :	184
V.7.3.2	Le système de protection et la température de l'air intérieur :	184
V.7.3.3	Le type du vitrage et la transmission thermique :	185
V.7.3.4	La surface vitrée et la température moyenne radiante (Tr) :	186
V.8	NIVEAU III : Analyse croisée, évaluation de l'état thermique par les indices thermiques : 188	
V.8.1	Évaluation de l'état thermique de l'utilisateur par les indices PMV, PPD et Top:.....	188
V.8.2	Période de mi-saison :	188
V.8.2.1	BATIMENT Tourisme :	189
V.8.2.2	BATIMENT DTP :	192
V.8.2.3	BATIMENT DUAC :	196
V.8.3	Période d'hiver :	199
V.8.3.1	Bâtiment Tourisme :	199
V.8.3.2	Bâtiment DTP :	201
Conclusion :	.....	202
Conclusion générale :	.....	204
Bibliographie :	.....	214
Annexes 01 :	.....	218
Annexes 02 :	.....	224
Annexes 03 :	.....	228
Annexes 04 :	.....	236

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I.1: l'échange de chaleur entre le corps et son environnement.	13
Figure I.2: Représentation schématique de l'isolement thermique.	15
Figure. I.3: confort en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative.	17
Figure I.4: confort en fonction de vitesse de l'air et de température ambiante.	18
Figure I.5: représentation de la température radiante dans une pièce.....	18
Figure I.6: Schémas de principe d'angle solide et situation de confort.	19
Figure.I.7: relation du pourcentage prévisible d'insatisfaits(PPD) en fonction du vote moyen(PMV)	21
Figure I.8: Représentation du modèle physiologique à deux nœuds de Gagge.	21
Figure I.9: diagramme de température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme.	25
Figure I.10: Abaque pour la détermination de la température effective normale.	27
Figure I.11: Diagramme bioclimatique d'Olgay.	32
Figure I.12: Diagramme psychométrique de Givoni, zone de confort et les stratégies de performance..	33

Chapitre II :

Figure II.1: Schémas de principe de verre feuilleté.	38
Figure II.2: Les contraintes de compression dans le verre trempé.	39
Figure II.3: le comportement des vitrages en cas de bris.	40
Figure II. 4: Schéma d'un vitrage isolant (double vitrage).	40
Figure II.5: à gauche : plage d'ondes de rayonnement solaire et rayonnement des corps terrestres,	41
Figure II.6: facteur solaire de verre absorbant.	41
Figure II.7: facteur solaire de verre réfléchissant.	41
Figure II.8: exemple des verres imprimés.	42
Figure II.9: les domaines composant les spectre solaire selon la longueur d'ondes	43
Figure II.10: facteur de transmission lumineuse dans le cas d'un vitrage clair.	44
Figure II.11: le facteur solaire « g » dans le cas d'un vitré flotté ép. :4cm.	45
Figure II.12: réchauffement thermique d'un local sous effet de serre.	46
Figure II.13: schéma illustrant l'angle d'incidence.	47
Figure II.14: facteur de transmission à travers le vitrage selon l'angle d'incidence.	47
Figure II.15: Palm house à BictonPark, Londres 1820,	48
Figure II.16 : le palis crystal à londre 1851	48
Figure II. 17: Usine Fagus, 1914, Allemagne	49
Figure II.18: le Bauhaus, 1926, Dessau	49
Figure II.19: Gratte-ciel de verre imaginés par Mies van der Rohe, à. Berlin, 1919	50
Figure II.20: la cité de refuge à Paris 1930.	50
Figure II.21: L'école de plein air d'Amsterdam 1930	50
Figure II.22: Dover Sun House, 1948.....	51
Figure II.23: un bâtiment scolaire ,1961	52
Figure II.24: maison Trombe Michel, 1962 à France	52
Figure II.25: maison Herzog, 1982 Munich	52
Figure II.26: l'Occidental Chemical Center, 1980.	53
Figure II.27: panneau de façade, la tour elliptique à Bonn.	53
Figure II.28: principe de l'amélioration de la performance thermique du vitrage	54
Figure II.29: influence de la proportion du vitrage sur l'apport thermique.	55
Figure II.30: protection extérieur mobile et protection fixe.....	56
Figure II.31: avancé de façade,	56
Figure II.32: illustrations des types de baies au cours des périodes.....	58
Figure II.33: Ksar Timimoun(Algérie).	59
Figure II.34: Ksar Ouarzazate (Maroc).	59
Figure II.35: types d'ouvrant,	60
Figure II.36 : protection extérieure mobile.	61
Figure II.37 : protections solaires fixes.	61
Figure II.38: ensoleillement (gains de chaleur) à travers la baie vitrée	62
Figure II.39: Facteur de transmission solaire « g » et lumineuse « t » selon le type de vitrage.	63

Figure II.40: quantité de facteur solaire transmis selon la position d'une protection.....	63
Figure II.41: calcul graphique d'une protection, superpositions des deux diagrammes.	64
Figure II.42: effets de la dimension et la position de l'ouverture sur la répartition de l'éclairage naturel dans l'espace intérieur.	65
Figure II.43: à gauche : facteur minorant de protection, à droite : valeurs du facteur f pour différents systèmes de protection.....	66
Figure II.44: valeurs typiques du coefficient g_{total} de l'association vitrage-protection mobile	67
Figure II.45: facteur d'ombrage selon la position de la baie vitrée (120x150cm).	67

Chapitre III :

Figure III.1: Situation géographique de la wilaya de Béchar, dans le contexte Saharien	70
Figure III.2: Zone climatique d'été.	71
Figure III.3: Zone climatique d'hiver.	72
Figure III.4: Application du Diagramme de Olgay pour la ville Béchar	74
Figure III.5: Application du Diagramme de Givoni pour la ville de Béchar	75
Figure III.6: bureau ouvert (Johnson Wax Company), F.L.Wright(1936).	77
Figure III.7: Bureau paysager (1960).	77
Figure III.8 : Situation et la façade principale de l'immeuble	79
Figure III.9: en haut: photo ancienne du bâtiment la poste des affaires.....	80
Figure III.10: à gauche : Façade Sud-est avec des ouvertures de petites dimensions, à droite :la façade Nord-ouest, protection des ouvertures par des auvents et des volets	80
Figure III.12: les services d'impôts 1 ^{er} novembre Béchar. Les deux façades de style classique.	81
Figure III.11: Situation de l'immeuble dans la ville	81
Figure III.13: le service d'impôts 1er novembre, Béchar, plan RDC et étage.....	82
Figure III.15: les types de fenêtres de bureaux, en RDC et étage	83
Figure III.14: vues intérieurs d'espace bureau	83
Figure III.16: plan de situation du siège de l'APC Béchar.....	84
Figure III.17: vue sur la façade principale (APC)..	84
Figure III.18: Plans RDC et étages du siège de l'APC.	85
Figure III.19: vues intérieures sur les espaces bureaux..	85
Figure III.20 : les différentes systèmes utilisées de protections des ouvertures (siège APC),.....	86
Figure III.21: Plan de situation DEP	87
Figure III.22: façade principale de la DEP Béchar.....	87
Figure III.23: plans de la DEP Béchar (.....	88
Figure III.24 : vues intérieurs d'espace bureau et baies (DEP).....	88
Figure III.25: Plan de situation et la façade principale, direction du logement Béchar	89
Figure III.27: vues intérieurs d'espace bureau.....	89
Figure III.26: plan de RDC, étage du bâtiment service logement Béchar	89
Figure III.28: Situation du bâtiment tourisme.	91
Figure III.29 : Plans du siège de Tourisme et de l'artisanat	92
Figure III.30: la façade principale Sud-est du Bâtiment Tourisme.	92
Figure III.31: Typologie des ouvertures vitrées, bâtiment tourisme.	92
Figure III.32: situation du bâtiment DTP.	93
Figure III.33: façade principale du bâtiment DTP.(.....	93
Figure III.34: les différents types des baies dans le bâtiment DTP.	94
Figure III.35 : plans RDC et étage du siège de la DTP :.....	94
Figure III.36: situation du bâtiment DUAC.	95
Figure III.37: vue sur la façade principale du siège DUAC.....	95
Figure III.38: Façade Sud-sud-ouest du bâtiment DUAC.....	96
Figure III.39: plan RDC, du siege DUAC,	96
Figure III.40: plan 1er & 2ème étage, du siège DUAC,	97
Figure III.41: la typologiebaies des bureaux du siège DUAC.....	97
Figure III.42: le Testo 480 pour la mesure de la température et de l'humidité relative.....	99
Figure III.43: Thermomètre à infrarouge (VOLTCRAFT), pour la mesure de la température de surface.....	99

Chapitre IV :

Figure IV.1: bureaux sélectionnés pour l'enquête, RDC du bâtiment tourisme.	105
Figure IV.2 : les bureaux sélectionnés pour l'enquête, étage du bâtiment tourisme.....	106
Figure IV.3: pourcentage des usagers interviewés en fonction de l'orientation des baies (tourisme).....	107
Figure IV.4: les bureaux sélectionnés pour l'enquête du bâtiment DUAC.....	107
Figure IV.5: pourcentage d'effectifs interviewés suivant l'orientation (DUAC).....	109
Figure IV.6: les bureaux sélectionnés pour l'enquête du bâtiment DTP.....	109
Figure IV.7: les divers types de bureaux les plus investis par l'enquête.....	111
Figure IV.8: répartition des effectifs en fonction du profil professionnel.	112
Figure IV. 9 : pourcentage des usagers en fonction de leur plaisir à l'espace physique.	112
Figure IV.10: pourcentage d'effectif en fonction de la préférence souhaitée.....	113
Figure IV.11: le facteur le plus défavorable pour le confort des usagers.	114
Figure IV.12: le nombre d'heures que les usagers passent au bâtiment.....	115
Figure IV.13: pourcentage d'effectif en fonction de l'ancienneté dans le bâtiment.	115
Figure IV.14: Votes de perception de la température en période d'été.....	116
Figure IV.16: Votes d'évaluation de l'ambiance thermique en été.....	117
Figure IV.15: synthèse des trois votes de perception.....	117
Figure IV.17: Votes de préférences thermiques en été.....	118
Figure IV.18: Synthèse des trois votes. Hiver.....	119
Figure IV.19: Votes de perception thermique en Hiver.....	119
Figure IV.20: Votes d'évaluation de l'ambiance thermique en Hiver.....	119
Figure IV.21: Votes de préférences thermiques en Hiver.....	120
Figure IV.22: Jugement d'acceptabilité en été.....	121
Figure IV.23: Jugement d'acceptabilité en Hiver.....	121
Figure IV.24: Jugement évaluatif en pourcentage de la dimension de la baie.....	122
Figure VI.25: Jugement évaluatif, surchauffe de bureau en fonction des taches solaires incidentes.....	122
Figure IV.26: Jugement évaluatif, effet des rideaux.....	123
Figure IV.27: histogrammes croisés mettant en évidence les temps de pénétration du soleil en fonction de l'orientation de la baie.....	124
Figure IV.28: présence des taches solaires à l'intérieur des bureaux.....	124
Figure IV.29: Satisfaction des employés vis-à-vis des conditions thermiques en Été et en Hiver.....	125
Figure IV.30: Satisfaction des usagers vis-à-vis de la dimension de la baie et de l'aération.....	126
Figure IV.31: importance d'avoir une baie dans le bureau chez l'utilisateur.....	126
Figure IV.32: pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. DUAC.....	127
Figure IV.33: le pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. DTP.....	128
Figure IV.34: pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. Tourisme.....	128
Figure IV.35: Le collage du papier sur le vitrage comme conduite comportementale répandue.....	129
Figure IV.36: Histogramme catégorisé reliant l'orientation des baies et le vote de sensation en Été.DTP.....	130
Figure IV.37: graphique montrant les préférences des usagers en fonction de l'orientation.....	131
Figure IV.38: le jugement d'acceptabilité (Été/Hiver) en fonction de l'orientation de la baie. DTP.....	131
Figure IV.39 : Histogramme catégorisé reliant l'orientation de bureau et la satisfaction envers la fraîcheur en Été. DTP.....	132
Figure IV.41: Histogramme catégorisé reliant la dimension de la baie et.....	133
Figure IV.40: la Satisfaction en hiver en fonction de l'orientation de l'espace bureau.....	133
Figure IV.42 : nuage de points, reliant la dimension de la baie.....	134
Figure VI.43: Histogramme croisé, reliant la dimension de la baie et les préférences. DTP.....	134
Figure IV.44: Nuage de points, reliant dimension de la baie et jugement évaluatif. DTP.....	135
Figure IV.45: nuage de points et histogramme, reliant la satisfaction en été et la dimension de la baie.DTP.....	135
Figure IV.47: le jugement d'acceptabilité (Été & Hiver) en fonction de la dimension de la baie vitrée.DTP.....	136
Figure IV.46: satisfaction des usagers en Hiver en fonction de.....	136
Figure IV.48: Nuage, reliant le jugement d'acceptabilité (été) et dimension de la baie.DTP.....	137
Figure IV.49: Jugement évaluatif d'une tache solaire incidente en fonction de la surface vitrée.DTP.....	137
Figure IV.50: croisement entre le jugement de l'effet des rideaux et le vote de perception en Été. DTP.....	138
Figure IV.51: histogramme croisé, du jugement d'acceptabilité et efficacité de la protection par les rideaux.....	138
Figure IV.52: Nuage de points, reliant l'effet de la protection intérieure et la satisfaction.DTP.....	139
Figure IV.53: Carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, orientation et conduite comportementale. TP.....	140

Figure IV.54: le déploiement de rideau et l'utilisation des objets, comme actions comportementales au niveau de la baie.....	140
Figure IV.55: carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, l'orientation, jugement de l'effet du rideau et la perception de la température en été.DTP	141
Figure IV.56: Histogramme catégorisé reliant l'orientation des baies et le vote de sensation en Été. Tourisme.	142
Figure IV.57: graphique montre les préférences des usagers en fonction de l'orientation. Tourisme	142
Figure IV.58: le jugement d'acceptabilité (Eté/Hiver) en fonction de l'orientation de la baie. Tourisme	143
Figure IV. 59: Histogramme catégorisé reliant l'orientation de bureau et la satisfaction envers la fraîcheur en Été. Tourisme	143
Figure IV.60: la Satisfaction en hiver en fonction de l'orientation de l'espace bureau. Tourisme.	144
Figure IV.61: nuage de points, reliant la dimension de la baie et le vote de perception en été. Tourisme.	144
Figure IV.63: à droite : histogramme catégorisé, à gauche : Nuage de points, reliant dimension de la baie et jugement évaluatif. Tourisme.	145
Figure IV.64: nuage de points, reliant la satisfaction en été et la dimension de la baie. Tourisme.	145
Figure IV.62: histogramme croisé, reliant la dimension de la baie et les préférences. Tourisme.	145
Figure IV. 65: satisfaction des usagers en Hiver en fonction de la dimension de la baie. Tourisme.	146
Figure IV.66: le jugement d'acceptabilité (Eté &Hiver) en fonction de la dimension de la baie vitrée. Tourisme	146
Figure IV.67: Jugement évaluatif d'une tâche solaire incidente en fonction de la surface vitrée. Tourisme.....	147
Figure IV.68: Carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, orientation et conduite comportementale. Bâtiment Tourisme.....	147
Figure IV.69: carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, l'orientation, la perception de la température en été et l'adaptation comportementale. Tourisme.....	148

Chapitre V :

Figure V.1: plan et vue en perspective schématiques montrant le protocole de mesures au niveau de l'espace bureau.	152
Figure V.2: l'interface de l'application de calcul des indices PMV, PPD et Top, via d'Excel.....	153
Figure V.3: les bureaux sélectionnés pour les mesures (Bâtiment Tourisme).....	154
Figure V.4: les bureaux sélectionnés pour les mesures (Bâtiment DTP).	155
Figure V.5 : les bureaux sélectionnés pour les mesures (Bâtiment DUAC).....	156
Figure V.6: coupe vertical & vue en 3d montrant l'emprise de la surface vitrée dans le bureau.....	157
Figure V.7: composition du double vitrage utilisé dans les baies des trois bâtiments.	157

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau I.1: Taux de métabolisme moyen correspondant à diverses activités.	14
Tableau I.2: Valeurs en clo pour quelques habillements.....	15
Tableau I.3: Echelle ASHRAE de caractérisation du confort	20
Tableau I.4: Relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique.	22
Tableau I.5: Récapitulatif des différents coefficients du modèle adaptatif pour certains auteurs.	24
Tableau I.6: Les échelles de la sensation thermique.	28

Chapitre II :

Tableau II.1: pourcentages de transmission lumineuse de différents types de vitrages.	44
Tableau II.2: les coefficients de conduction thermique et facteur solaire de différents types de vitrages.	46
Tableau II.3: valeur U en fonction de différences types de vitrage	54
Tableau II.4: transmission et gain de chaleur par divers types de verres.....	55
Tableau II.5 : fonctions de la baie de fenêtre,	61

Chapitre III :

Tableau III.1: Les caractéristiques climatiques de la zone D : Pré-Sahara et Sahara	72
Tableau III.2: Données climatiques de la ville de Béchar période : (2006-2015).....	73

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation. Tourisme.	106
Tableau IV.2: tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation(DUAC)	108
Tableau IV.3: tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation(DTP)	110

Chapitre V :

Tableau V.1: limites de confort pour les zones du Sahara.....	151
Tableau V.2: plage de confort dans les lieux du travail selon La norme 55-2004 de l'ASHRAE.....	151
Tableau V.3: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (batiment Tourisme).	154
Tableau V.4: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (bâtiment DTP). ..	155
Tableau V.5: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (bâtiment DUAC). .	156
Tableau V.6: Aspects Typologiques des baies des espaces où prise	189
Tableau V.7 : Aspects Typologiques des baies des espaces où prise les mesures d'Automne (DTP).	192
Tableau V.8 : Aspects Typologiques des baies des espaces où prise les mesures d'Automne (DUAC).	196
Tableau V.9 : Aspects Typologiques des baies des bureaux où prise les mesures d'Hiver (Tourisme).	199
Tableau V.10 : Aspects Typologiques des baies des bureaux où prise les mesures d'Hiver (DTP).	201

Conclusion générale :

Tableau 1: Tableau récapitulatif de l'état thermique objective à l'intérieur des bureaux, dans les trois immeubles de bureaux.....	210
--	-----

LISTE DES GRAPHES**Chapitre V :**

Graphe V.1: température de vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment tourisme).	159
Graphe V.2: température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment tourisme).	159
Graphe V.3: température de vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment tourisme)	160
Graphe V.4: profil de température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment tourisme).	161
Graphe V.5: température de vitrage et des parois, bureau 03. (Bâtiment tourisme).	161
Graphe V.6: température de l'air et température radiante, bureau 03. (Bâtiment tourisme).	162
Graphe V.7: température de vitrage et des parois, bureau 04. (Bâtiment tourisme).	162
Graphe V.8: température de l'air et température radiante, bureau 04. (Bâtiment tourisme).	163
Graphe V.9: température du vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment DTP)	164
Graphe V.10: température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment DTP).	164
Graphe V.11: variation de température du vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment DTP).....	165
Graphe V.12: température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment DTP).	165
Graphe V.13: variation de température du vitrage et des parois, bureau 05. (Bâtiment DTP).....	166
Graphe V.14: température de l'air et température radiante, bureau 05. (Bâtiment DTP).	166
Graphe V.15 : variation de température du vitrage et des parois, bureau 06. (Bâtiment DTP).	167
Graphe V.16: température de l'air et température radiante, bureau 05. (Bâtiment DTP).	168
Graphe V.17: variation de température du vitrage et des parois, bureau 07. (Bâtiment DTP).....	168
Graphe V.18: température de l'air et température radiante, bureau 07. (Bâtiment DTP).	168
Graphe V.19: température du vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment DUAC).	169
Graphe V.20: température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment DUAC).....	170
Graphe V.21: température du vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment DUAC).	170
Graphe V.22: température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment DUAC).	171
Graphe V.23: température de l'air et température radiante, bureau 03.(Bâtiment DUAC)	172

Graphe V.24: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 03. (Bâtiment DUAC)	172
Graphe V.25: température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées ESE, SO, SE et NE. (Bâtiment Tourisme).	173
Graphe V.26: les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Batiment Tourisme).	175
Graphe V.27: températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Batiment Tourisme).	175
Graphe V.28: températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau03 (Batiment Tourisme).	176
Graphe V.29: les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau04 (Batiment Tourisme).	177
Graphe V.30 : température moyenne radiante dans les quartes bureaux (B1, B2, B3 et B4). (Bâtiment Tourisme).	178
Graphe V.31: température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées SSE, S, SO, E et O. (Bâtiment DTP).	179
Graphe V.32: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Batiment DTP).	180
Graphe V.33 : températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Bâtiment DTP).	180
Graphe V.34 : températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau06 (Bâtiment DTP).	181
Graphe V.35 : températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau05 (Bâtiment DTP).	182
Graphe V.36 : températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau07 (Bâtiment DTP).	182
Graphe V.37: température moyenne radiante dans les bureaux (B1, B2, B5, B6 et B7). (Bâtiment DTP).	183
Graphe V.38: température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées SSO, ESE et S. (Bâtiment DUAC).	184
Graphe V.39: températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Bâtiment DUAC).	185
Graphe V.40 : températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Bâtiment DUAC).	186
Graphe V.41 : courbes comparant les températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau03 (Bâtiment DUAC).	186
Graphe V.42 : température moyenne radiante dans les bureaux (B1, B2, B3). (Bâtiment DUAC).	187
Graphe V.43: température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux (mi-saison) et la limite de confort (Bâtiment Tourisme).	190
Graphe V.44 : variation des valeurs de PMV (mi-saison) dans les espaces de bureaux (Bâtiment Tourisme). ..	191
Graphe V.45: histogrammes montrent le nombre d'heures pendant lesquels l'indice Top est supérieure à la limite de confort (mi-saison) dans les bureaux (Batiment Tourisme).	191
Graphe V.46 : histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison), Bâtiment Tourisme.	192
Graphe V.47 : température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (mi-saison), Bâtiment DTP.	193
Graphe V.48: variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (mi-saison), Bâtiment DTP.	194
Graphe V.49 : histogrammes montrent le nombre d'heures pendant lesquels l'indice Top est supérieur à la limite de confort dans les bureaux (mi-saison), Bâtiment DTP.	195
Graphe V.50: histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison), Bâtiment DTP.	195
Graphe V.51 : température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (mi-saison), Bâtiment DUAC.	196
Graphe V.52 : la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (mi-saison), Bâtiment DUAC.	197
Graphe V.53 : histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison). Bâtiment DUAC.	198
Graphe V.54: histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison) .Bâtiment DUAC.	198
Graphe V.55: température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (Hiver) .Bâtiment Tourisme.	200
Graphe V.56 : la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (saison d'hiver), Bâtiment Tourisme.	200
Graphe V.57 : température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (Hiver) .Bâtiment DTP.	201
Graphe V.58 : la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (saison d'hiver), Bâtiment DTP. .	202

INTRODUCTION GÉNÉRALE

(Eléments de la problématique).

Introduction

L'histoire de la culture et la civilisation humaine montre bien la grande influence du climat et de l'environnement physique sur les arts et le développement de l'homme, en effet, cette répercussion a été largement marquée dans l'acte de construire à travers le temps et l'espace. A ce propos, A. Rapoport, (1972) explique que le bâtiment est la résultante de l'interaction entre l'homme, sa nature, ses besoins, les techniques disponibles et la nature dans laquelle le facteur climatique joue un rôle déterminant dans la création de la forme bâtie. Aussi l'architecte A. Ravereau, (1980), a toujours été un défenseur de l'idée de concevoir avec le contexte, il précise ainsi que « l'architecture n'est pas une recherche de forme par l'œil. Elle est avant tout recherche d'accord maximal avec le climat, qui lui est, permanent, ... ». À titre d'exemple, on trouve que, les bâtisseurs primitifs et préindustriels ont développé des matériaux et des techniques architecturales pour fournir un confort acceptable dans un environnement spécifique, en tenant compte les conditions climatiques locales, les matériaux de constructions disponibles, ainsi les aspects culturels et religieux.

A ce sujet, jusqu'à un passé très récent, l'idée de vivre et de s'adapter selon un équilibre avec le climat, se représente avec richesse dans les exemples des anciennes bâtisses. On cite pour cet égard, les exemples des igloos du grand nord-américain, il s'agit des habitats semi-enterrés en forme de dômes. Cette forme peut couvrir un volume habitable dont le nombre de surfaces exposés est minimum, c'est une stratégie pour protéger du froid intense dans ce type du climat. En plus pour assurer un renouvellement d'air, ils ont percé des trous de ventilation, leur dimension et nombre sont définis en fonction de nombre de personnes. De plus, dans le désert du tropique humide, on cite les modèles des maisons de terre et de pierre, qui ont été réalisées avec des solutions bien distinctes, tels que la plancher surélevé au-dessus du sol avec de large avant toits. Ce sont des manières adoptées afin d'optimiser le potentiel de ventilation naturelle et de protéger de l'ensoleillement.

Dans les régions où le climat chaud et sec, la forme et les dispositifs architecturaux utilisés au niveau des entités, marquent bien cette intégration avec ce climat. On trouve dans cette architecture que, la forme de la toiture est plate, s'exprime comme une stratégie pour réduire l'intensité du rayonnement solaire incident sur l'unité de surface. En outre, les surfaces de percements sont petites, liées au besoin de réduire la chaleur du rayonnement direct. Ces formes de conception sont différentes de celles des régions où le climat est froid, nuageux et pluvieux, d'où ici, les proportions des percements sont plus grandes, elles s'expliquent comme une façon de recueillir la chaleur générée par les rayons solaires. Alors on peut dire que, ces architectures vernaculaires, sont toutes des formes de construction qui reflètent bien le degré de collaboration avec la nature et le climat. « ... une réponse architectonique simple et pragmatique à l'équation du lieu, des matériaux disponibles et du climat » (Gonzalo, 2013). Pour ces raisons d'intégration de l'élément climat dans la forme bâtie, ces architectures populaires présentent des leçons et de formes de conception diversifiées et appropriées pour chaque zone climatique. Elle est considérée comme bioclimatique par excellence, bien avant le 20ème siècle et l'apparition de la notion d'architecture bioclimatique.

En revanche, le mouvement moderne et avec les nouvelles technologies (acier, béton, verre), a entraîné des grandes transformations, dans le langage architectural sur le plan des savoirs, des idées, des techniques et des modes de vie. Contrairement de ce qui précède, les architectes de cette époque, ont contribué à la production d'une architecture parfaitement indifférente au climat en surestimant les possibilités technologiques et en les considérant aptes à remplacer l'enseignement des « anciens » (Parant, 1989). Ces constructions se caractérisent par une ignorance du contexte climatique local, elles ont un comportement saisonnier statique et l'utilisation des matériaux constructifs légers. Parmi les problèmes majeurs de cette architecture vient le problème de consommation de l'énergie utilisée pour garantir le confort des occupants, chose qui a laissé souvent cette architecture stigmatisée par les critiques, pour avoir produit des bâtiments énergivores. Suite à la crise énergétique de 1973, l'utilisation rationnelle de l'énergie dans ces immeubles, devint une nécessité pour s'adapter aux nouvelles exigences réglementaires. Alors à partir de ce moment le problème d'économie de l'énergie se posa dans toute son intensité, la nécessité d'économiser de l'énergie dans le bâtiment et les tentatives de garantir le confort de l'utilisateur, allaient constituer vers la reconnaissance de nouveaux concepts notamment, la dimension bioclimatique en architecture. Dans un ordre chronologique, il est apparu au début les bâtiments capteurs puis les bâtiments solaires et après les bâtiments bioclimatiques qui se basent sur une connaissance approfondie de l'environnement local et les besoins d'utilisateurs. Ceci incitait les concepteurs à la réflexion sur les rapports de l'architecture à l'environnement et au climat.

En outre, suite à l'apparition de la notion de *développement durable*, basée essentiellement sur un équilibre entre la satisfaction des besoins fondamentaux de l'homme et une gestion rationnelle et efficace des ressources, le concept d'architecture durable a vu le jour. Dans cette perspective, le concept d'architecture durable, a été inscrit dans une démarche basée sur la réduction des besoins énergétiques, en s'adaptant mieux à l'environnement climatique et la production d'un confort sain en veillant à la nature des matériaux utilisés. Elle repose essentiellement sur la notion d'architecture bioclimatique qui s'agit d'une réponse aux nouvelles demandes de confort et de santé des occupants, tout en réduisant, voire en évitant, des dépenses énergétiques en technologies actives de chauffage de ventilation et de refroidissement (J.Hetzl, S.Kyvelou, 2007).

D'un autre côté, nombre d'architectes ont produit une architecture différente, adaptée au contexte naturel et climatique. Hassan Fathy est l'un des premiers architectes à rompre avec l'architecture moderne et à fonder une nouvelle approche basée sur une conception de l'interprétation des formes du passé. Il se méfiait notamment de l'incapacité des architectes du XXe siècle à répondre aux enjeux environnementaux spécifiques de certaines régions particulières (E. Boulbin, 2013). Alors, il a développé des aspects conceptuels et des technologies de construction, appropriées aux conditions climatiques des pays chauds et arides. Il a montré que les choix architecturaux doivent être faits en fonction du climat (orientation suivant le soleil, le vent, etc.). Il a utilisé la terre crue comme matériau adaptable à ce type de climat sec et il a fait revivre des techniques constructives ancestrales telles que ; la voûte nubienne, les arcs, et les coupes.

Problématique :

Dans la ville saharienne où le climat est chaud et sec, le facteur climatique est un élément indispensable dans la morphogenèse de ces villes, en effet l'homme qui vit dans ce contexte, a toujours recherché l'adaptation de ses conditions de vie au climat. Cela, on le trouve se présenter sous forme d'une série de stratégies urbanistiques et architecturales finement hiérarchisées, et de ce depuis la morphologie urbaine jusqu'aux détails constructif. Au niveau du tissu urbain, le bâti est compact, les rues sont étroites et couvertes. Quant à l'enveloppe de la construction, la composition des pièces est autour d'un patio (architecture introvertie), les murs sont massifs (50 à 70cm), des ouvertures percées à l'extérieur sont généralement de petites dimensions protégées par des occultations (claustrât, moucharabieh, ...). Ceci montre bien que l'homme dans ce milieu saharien a trouvé des solutions qui s'adaptent à la rigueur du climat pour se protéger, par la suite, il a assuré son confort par des solutions durables.

En revanche, l'architecture contemporaine au Sahara, a connu de nouvelles formes et conceptions, qui ne ressemblent pas aux formes traditionnelles. En effet, à l'instar de l'architecture moderne, cette architecture nouvelle saharienne, est souvent caractérisée par l'utilisation des grandes baies vitrées sur la façade, la fenêtre en bande et la verrière. Plus particulièrement cette tendance, est concrétisée dans les immeubles de bureaux contemporains. Au niveau de ces buildings, la façade devient seulement membrane, elle n'exige plus la même solidité, son rôle de barrière et de filtre vis-à-vis des facteurs climatiques est largement diminué. La protection climatique autrefois assurée par l'enveloppe extérieure du bâtiment (architecture vernaculaire) a disparu. Leur efficacité pour le confort thermique est remise en question. « *Ce courant architectural récent, principalement porté par un désir de transparence du bâtiment propose des façades complètement vitrées, libérées de leur fonction portante et réduites au rôle d'enveloppe* » (Gratia & De Herde, 2006, p. 311). Donc les architectes de cette tendance, ont contribué à la production d'une architecture parfaitement indifférente au climat saharien et largement énergivore. Les choix réfléchis de la forme de l'enveloppe, les aspects de façades, de l'orientation et de matériaux, qui ont existé dans l'architecture ancienne locale dans ce contexte, ont été disparus. Alors, le confort d'été des occupants au sein de ces édifices, est devenu garanti par l'utilisation des moyens mécaniques de climatisation.

Parmi les causes principales qui ont permis l'affleurement de cette architecture, sont l'apparition de nouveaux matériaux (verre, acier, béton), et les nouvelles techniques de construction tels que l'adoption du principe de la structure à ossature et à poteau-poutre.

La ville de Béchar à l'image de toutes les villes sahariennes en Algérie, comporte un nombre important d'équipements tertiaires dont les immeubles de bureaux sont une partie importante. L'aspect extérieur de l'architecture de ces édifices contemporains, est fortement vitré visant à exprimer un aspect esthétique de transparence, tout en utilisant les techniques de murs rideaux et les grandes surfaces vitrées en façade. Cependant, le climat de Béchar, se caractérise par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti. En été, la température

dépasse facilement les 40 °C à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 22 %¹. Aussi suite à une analyse bioclimatique² (tables de Mahoney), pour réaliser un confort hygrothermique dans le bâtiment, il est recommandé une taille petite des ouvertures dans cette région où les contraintes climatiques sont plus fortes. Donc, d'après ces traits cités de cette nouvelle architecture, et ses conséquences sur la disparition de la protection thermique qui était assurée par la façade, et l'aspect climatique chaud et aride de cette ville, on se pose les questions suivantes : est-ce que cette architecture, des bâtiments de bureaux est adaptée au climat ? Y-t-il des effets de cette image dite moderne qui se dégagent de l'aspect extérieur de ces édifices sur les ambiances thermiques intérieures ? Pour répondre à ces questions, notre étude va traiter les rapports entre l'architecture de l'enveloppe du bâtiment, précisément les paramètres des ouvertures vitrées en façade et les conditions du confort thermique intérieures.

En ce sens et devant cet état de fait, notre recherche se penche sur l'étude de l'effet des baies vitrées sur le confort thermique à l'intérieur des immeubles de bureaux dans la ville de Béchar. Dans ce cadre on va aborder ce sujet au niveau de trois immeubles de bureaux contemporains que sont : le siège du tourisme et la direction des travaux publics et la direction d'urbanisme de l'architecture et de la construction.

Les questions de recherche :

L'ouverture vitrée est une composante de l'enveloppe de l'édifice, qui interagit avec la totalité des composants. Ses caractéristiques formelles et thermiques tels que ; la dimension, l'orientation, l'inclinaison et la distribution sur la façade, jouent un rôle déterminant sur les aspects des ambiances intérieures. A cet égard, et devant cet état de fait des façades vitrées dans ce contexte saharien, nous cherchons à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les effets de baies vitrées sur les performances thermiques de l'espace intérieur dans un climat chaud et aride ?
- Quels sont les effets des baies vitrées dans le contexte de la ville de Béchar, sur les conditions de confort thermique intérieur ?
- Quelles sont les conduites perceptives et comportementales des usagers en situation ?

Hypothèse :

Après avoir identifié le problème d'utilisation des grandes ouverture vitrées et son rapport au confort thermique dans ce contexte saharien et énoncé les questions de recherche, il est important de concrétiser ces questions en faits mesurables. Pour cela et dans cette première étape d'opérationnalisation, on identifie les éléments de la réalité qu'on veut étudier à travers l'hypothèse suivante :

¹ Données prises de la station météorologique de Béchar. (Source: *Wunderground*, 2012)

² Etude est faite par Semahi, *La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides*, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 16 N°3 (2013)

Il semble que les caractéristiques des surfaces vitrées dans les immeubles de bureaux contemporains à Béchar, influencent négativement le confort thermique intérieur résultant et les attitudes des usagers.

Les objectifs de la recherche :

Le cadre de notre recherche prend le cas de l'architecture des immeubles de bureaux contemporains à Béchar pour les objectifs suivants :

- Comprendre comment la disposition et les caractéristiques de vitrage influent sur le confort thermique des occupants.
- Saisir la synthèse des critères à prendre en compte, dans la conception des équipements de bureaux dans un contexte saharien.
- Offrir aux concepteurs un support d'aide et des lignes directrices pour la construction des immeubles tertiaires plus performants thermiquement.
- Définir les paramètres de base pour une conception optimale des baies vitrées dans la région étudiée.
- Évaluation des aspects négatifs de la paroi transparente en climat saharien.

Etat de l'art :

Le contexte empirique de notre sujet est basé sur la lecture d'un ensemble des travaux de recherches préexistants et qui ont un lien avec notre sujet de recherche. Ils sont notamment des articles, des thèses et des mémoires. Généralement, ces travaux ont abordé des sujets traitant les relations qui se tissent entre les caractéristiques de l'enveloppe architecturale et les ambiances intérieures. Pour cela, notre travail de mémoire va partir sur la base de ces recherches.

En premier lieu, on cite le travail (article) de Imène Slama (2014), dont l'intitulé : **Véçu et confort des usagers des immeubles de bureaux tunisiens contemporains : de la normalisation à la notion d'ambiance**, il a pour but d'analyser le degré de satisfaction ressenti des employés envers leur espace de travail dans des bâtiments de bureaux contemporains en Tunisie.

En second lieu, on examine l'étude faite par Germia Bouchahm et Fatiha Bourebia (2010), sous forme d'un article publié dans une revue scientifique. Le titre de cet article est : **L'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe à Constantine**. L'objectif de cette étude était, l'évaluation de l'effet de l'orientation des fenêtres sur le confort dans les salles de classe sous le climat de Constantine.

Une autre étude (article) faite par S. Bellara Louafi et S. Abdou, (2010) a traité le paramètre d'orientation d'un espace de séjour, dans la ville de Constantine et son rapport à la qualité thermique intérieure. Le titre de l'article est : **impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective**.

En troisième lieu, nous sommes basés sur le travail de recherche de Azeddine Belakehal (2006), dans sa thèse de doctorat en architecture, intitulée : **Etude des aspects qualitatifs de**

l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec. Ce travail est focalisé sur l'étude des conduites perceptives et comportementales des occupants vis-à-vis l'environnement lumineux, dans les bâtiments administratifs à Biskra.

En quatrième lieu, on note la recherche de Fezzioui, Draoui, Benyamine, Larbi (2008), dont l'intitulée est : **Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien.** L'objectif visé dans ce travail, est de chercher à obtenir un confort thermique dans l'habitat en zone sud, en utilisant le moins dépenses énergétiques. Pour cela, ils ont étudié par le biais de cet article, les rapports des composants de l'enveloppe (inertie des murs, isolation des murs et toiture et surface des fenêtres) et la demande énergétique la plus économique pour le confort.

En dernier lieu, on cite également, l'étude de magister de Mohamed Mazari (2012) intitulé : **Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou).**

En somme, l'exploration de ces études précédentes, a nous donné lieu à la constitution d'un support du travail, qui comprend les points suivants :

- La manière par laquelle ce thème traitant la relation des ambiances intérieures, est déjà abordé par ces chercheurs.
- Les dimensions clés utilisées.
- Les outils et les méthodes utilisées.
- Les résultats produits.

Méthode d'approche :

Afin d'élucider la problématique posée et pour vérifier et examiner l'hypothèse sous-tendent ce travail, nous allons établir une méthode exploratoire qui se base sur une **enquête in situ.** Cette méthode s'établit à travers les mesures physiques de l'ambiance intérieure et les réponses perceptives et affectives des occupants. Pour ce qui est de mesures, elles vont être réalisées avec des appareils spécialisés pour la prise des paramètres physiques de l'ambiance. En ce qui concerne les réponses subjectives de l'utilisateur, elles seront collectées à l'aide d'une enquête par questionnaire, traitant les votes de perception, d'évaluation et de préférences de l'utilisateur. Cette méthode, nous permettra d'étudier précisément l'influence d'un ensemble de paramètres des baies vitrées sur les conditions de confort thermique à l'intérieur de l'espace du travail.

Ensuite, après l'analyse des résultats obtenus, nous pourrons tirer des traits directifs, sur l'ensemble de critères conceptuels et morphologiques, de la répartition des baies vitrées sur les façades des immeubles de bureaux. Ces critères vont être un support utile pour les concepteurs, ce qui leur permet de les prendre en compte par la suite, dans la conception architecturale dans un climat chaud et aride.

Structure du mémoire :

Pour pouvoir construire une démarche structurée de notre étude, le mémoire se compose en deux parties, une partie théorique et une partie analytique.

La première partie est le contexte théorique sur l'objet de connaissance, il s'agit de définir les concepts et les mots clés qui sont associés au sujet. Cette démarche documentaire, fournit les informations nécessaires sur la discipline et nous permet de mieux comprendre les diverses facettes du thème. Cette partie est composée de :

Le premier chapitre : est relatif au confort thermique intérieur. Il comportera plusieurs définitions de la notion du confort thermique, les différentes approches et les différents paramètres influant sur le confort thermique, l'objectif de ce chapitre est de récolter les concepts qui concernent le confort thermique, pour mieux les appréhender et saisir leurs rapports aux éléments architecturaux de l'édifice.

Le deuxième chapitre, être consacré aux baies vitrées et l'architecture de verre, il a pour but de savoir l'apport de chaque constituant sur confort et les performances énergétiques dans le bâtiment.

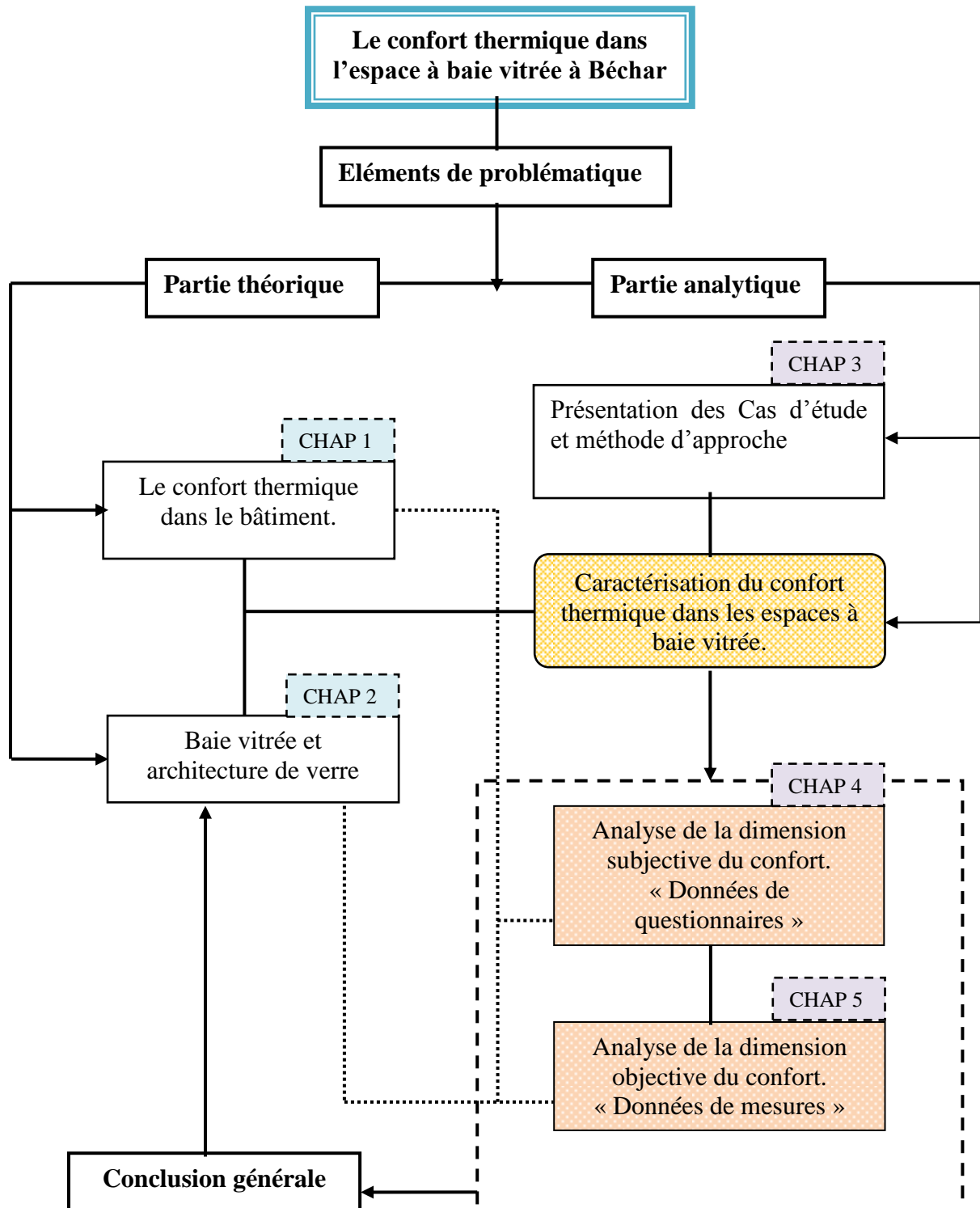
La deuxième partie de ce mémoire c'est le cadre analytique, qui a pour but de vérifier l'hypothèse de recherche et faire répondre aux différentes questions posées dans la problématique, par le biais de l'application du modèle d'analyse. Elle sera divisée en trois chapitres :

Le troisième chapitre : comportera le contexte et le cas d'étude de notre recherche, il sera question de présenter la ville de Béchar et son climat, ainsi que les immeubles sélectionnés pour l'étude. Puis il va exposer la méthodologie utilisée pour la collecte de données, qui s'agit de l'enquête in situ au sein des bâtiments sélectionnés pour l'étude.

Le quatrième chapitre : il s'agit d'une analyse et interprétation des données de résultats qui vont être recueillies par la technique de questionnaire au sein de l'ensemble des cas d'études.

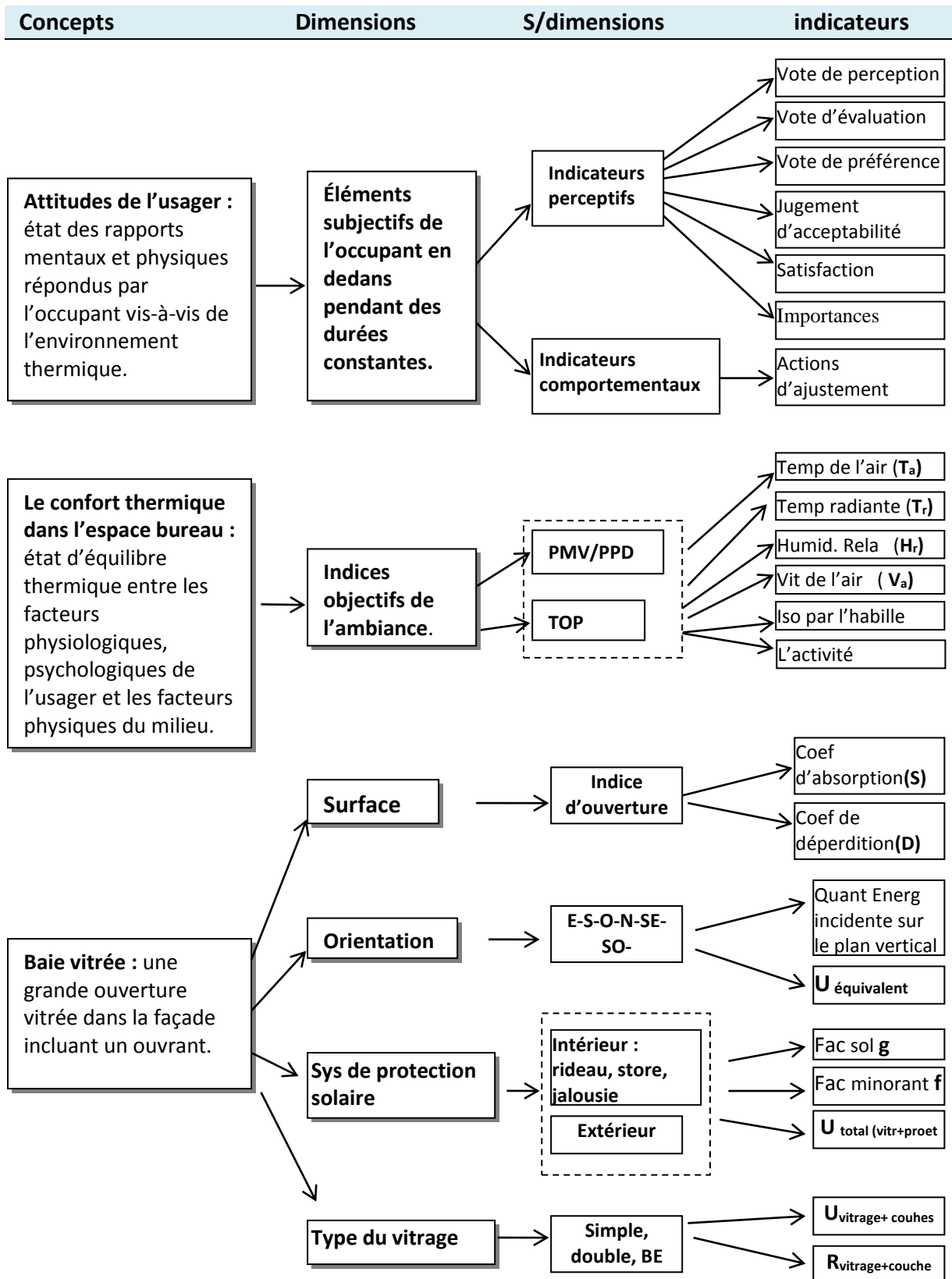
Le cinquième chapitre : va être consacré à l'analyse des données qui vont être recueillies par la technique de mesure à l'aide des appareils et par l'observation exploratoire.

Schéma de structure du mémoire :



Analyse conceptuelle :

L'hypothèse : la baie vitrée influence le confort thermique à l'intérieur de l'espace bureau et les attitudes de l'utilisateur en situation.



CHAPITRE I :
LE CONFORT THERMIQUE DANS LE
BATIMENT.

(Approches et méthodes d'évaluation).

Introduction :

Un bâtiment est conçu avant tout pour répondre aux besoins de ses usagers, il doit être confortable, social, symbolique et fonctionnel. En plus qu'il doit protéger ses occupants de l'environnement extérieur et des aléas de climat, il est nécessaire d'assurer un climat intérieur agréable. En outre, Vitruve dans son livre¹, et parmi les quatre objectifs d'une architecture, énonce qu'un bâtiment doit être confortable et fonctionnel (*Commoditas*). La notion de confort en général dépend de plusieurs critères et reste difficile à définir avec précision. Assurer un environnement confortable thermiquement à l'intérieur des bâtiments, est l'un des aspects essentiels du travail de l'architecte, Pour cela, une bonne compréhension des phénomènes thermiques en jeu, permet de donner au concepteur des opportunités dès la première phase d'esquisse pour la conception d'un bâtiment confortable et par la suite économe en énergie.

A travers le temps, de nombreux spécialistes ont travaillé sur la notion de confort thermique en particulier. Ils ont développé plusieurs théories qui visent à déterminer les conditions de confort thermique et leurs limites. En tenant compte des paramètres climatiques et de leurs évaluations combinées. Le confort thermique est considéré comme un état d'esprit où les occupants sont satisfaits de leur environnement thermique environnant et ne souhaitent ni une condition plus chaude ni une plus froide (Fanger, 1970). Cela peut s'expliquer par la zone dans laquelle la majorité des gens ne ressentent pas de malaise thermique, dans une gamme de conditions climatiques.

Dans de ce chapitre nous allons, d'un côté, explorer la notion de confort en général et son évolution dans l'histoire et de l'autre, essayer d'identifier la notion de confort thermique et les paramètres qu'ils l'affectent qui sont des facteurs propres à l'individu et d'autre liés à l'environnement. On présentera également les différents domaines de recherche sur le confort thermique dans le bâtiment, les principes et les variables utilisés par chaque approche.

D'autre part, on met en exergue les méthodes d'évaluation développées par les chercheurs dans le domaine du confort thermique. Dans un premier temps, les indices thermiques qui sont des outils d'évaluation objective, puis les indices d'évaluation subjective. Une dernière étape, sera abordée pour saisir le rôle des cartes bioclimatiques, comme outils graphiques d'évaluation des conditions de confort et comme une stratégie de performance dans le bâtiment.

¹De architectura, « au sujet de l'architecture », livre I. Vitruve (Ier siècle av. J.-C.). Actualiser par Leone Battista Alberti (XVe).

I.1. Sur la notion de confort :

Le confort est une notion étroitement liée à la sensation de bien-être qui ne possède pas de définition absolue. D'où, dans chaque période historique, elle a eu une signification propre à son époque. La notion de confort demeure plus vaste et ne peut se limiter aux seules conditions physiques qui déterminent, le confort de type hygrothermique (température, humidité...etc.), sonore ou olfactif. Cette notion comprend aussi les paramètres esthétiques et psychologiques (qualité de la lumière, les espaces verts, le paysage, la sécurité, le prestige...etc.). De plus, ses conditions varient socialement (selon le niveau de vie et les classes), géographiquement (selon les régions) et historiquement (selon les périodes) (Belakehal, 2012).

Roulet, C.A (2002), définit le confort comme un état de bien-être général. Il est mesuré à *contrario* par le taux d'insatisfaction des occupants. Si le pourcentage d'insatisfaits est faible, le confort est jugé acceptable. Le confort n'existe pas en lui-même, c'est un état que les gens recherchent lorsqu'ils éprouvent de l'inconfort, donc il ne peut être apprécié qu'à travers la notion d'inconfort. D'après cette définition de bien-être et de satisfaction, la notion de confort fait appel à plusieurs champs scientifiques, la psychologie, la sociologie, climatologie, la thermique, l'acoustique, la chimie, etc. Ceci explique sa complexité et sa difficulté à définir de façon précise. Selon G. Moser (2009) cité par C. Batier (2016) les différents conforments sont :

- *le confort sensoriel* : fait référence à la qualité de l'environnement (la lumière, la vue, l'air, la qualité tactile des matériaux...)
- *le confort existentiel* : est relatif à la qualité environnementale du cadre de vie ayant des répercussions sur le plan psychique (par rapport à son identité ou son épanouissement).
- *le confort matériel* : correspond à la satisfaction des besoins primaires et matériels.
- *le confort esthétique* : subjectif, il dépend des perceptions individuelles.
- *le confort social* : équilibre entre le besoin d'être avec les autres et le besoin d'intimité.
- *le confort de conformité* : appartenance à un groupe social.

En général, l'approche du confort, peut impliquer au moins trois champs disciplinaires : l'architecture, les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines et sociales.

En architecture, on peut agir sur le confort physiologique (sensoriel) et psychologique (esthétique et social). Le confort physiologique est étroitement lié aux exigences thermiques, de lumière (éclairage), sonore, olfactives...etc. Celui psychologique peut être réparti en deux genres : visuel (perception de l'espace, contact avec l'extérieur, visibilité...etc.) et non-visuel (déroulement des activités, intimité, privacité...etc.) (Belakehal, 2012).

I.2. Le confort thermique :

C'est une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état (Lawson, 1991), il correspond à un état d'équilibre thermique et hydrique entre la quantité de chaleur produite par le corps humain et celle dissipée dans son environnement.

De son côté (Givoni, 1978) définit le confort thermique dans deux sens, un sens négatif, comme l'absence du gêne ou d'inconfort dû à la chaleur ou au froid, et un sens positif comme un état engendrant le bien-être.

La notion de confort thermique a un caractère subjectif, d'où tout individu a des besoins particuliers et acquérant un caractère personnel. Alors que, dans la même ambiance thermique, plusieurs individus peuvent exprimer de différentes appréciations de leur sensation thermique et qui varie également, pour le même individu selon différentes périodes. « Chaque individu a sa propre échelle pour évaluer ses sensations » (Givoni, 1978, p. 70)

En effet, l'interaction des variables environnementales et personnelles, conduisent à un équilibre thermique, L. Adolphe (2002) cité par S.D Boutabba (2003) explique que la sensation thermique est le résultat de plusieurs facteurs qui interviennent pour qu'un homme exprime son bien être :

- ✓ **Facteurs Physiques** : Ce sont les composantes physiques du milieu, qu'elles soient stables façades thermiques, végétation, mobilier, etc. ou variables dans le temps (éléments du climat).
- ✓ **Facteurs Physiologiques** : sont les mécanismes de thermorégulation du corps et d'acclimatation : transpiration, sudation, frissons, etc.
- ✓ **Facteurs Psychologiques** : Caractérisés par la façon dont laquelle la personne perçoit et évalue psychologiquement son milieu et la situation dans laquelle elle se trouve.

I.3. L'échange thermique du corps avec l'ambiance :

Le corps humain se maintient une température avoisinante de 37° grâce aux apports de calories des aliments et par un ensemble de mécanismes biologiques. Il échange en permanence de la chaleur avec son environnement immédiat pour y atteindre un équilibre thermique. Cela se fait à travers la peau (transpiration) et les voies respiratoires (Courgey & Oliva, 2006, p. 27). Cette régulation de température de corps est la condition essentielle pour la santé, le bien-être et la performance au travail. Le maintien de température à un niveau constant suppose la dissipation continue de la chaleur interne produite, et l'échange entre le corps et l'air ambiant et les surfaces environnantes. Pour cela, dans une ambiance thermique occupée par l'individu, le corps humain recourt aux mécanismes physiologiques suivants :

I.3.1. Evaporation d'eau :

Par la respiration et la transpiration (la peau), passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux, l'évaporation d'eau consomme des calories d'énergie, la transpiration, en s'évaporant rafraîchit la surface de la peau. Ce pouvoir évaporé dépend du degré de vapeur d'eau contenu dans l'air ambiant, de la vitesse de l'air et la différence de température.

I.3.2. Convection :

Il s'agit d'un échange de chaleur entre la peau et l'air ambiant, d'autant plus important que l'écart de température entre les deux est grand (Courgey & Oliva, 2006, p. 27). La vitesse de l'air ambiant et le mouvement de corps par rapport à l'air, accentuent l'échange de chaleur convective.

I.3.3. Conduction :

C'est le transfert de chaleur par le contact direct d'un objet (sol, chaise, ...) plus chaud ou plus froid que les surfaces du corps. Si l'objet est froid, on aura une sensation de froid, s'il est chaud on aura une sensation de chaud.

I.3.4. Rayonnement ou radiation :

Ce sont les échanges de rayonnement infrarouges entre le corps et les parois qu'elle soit chaudes ou froides (Courgey & Oliva, 2006). L'organisme reçoit et émet des ondes électromagnétiques qui sont transformées en chaleur. Cet échange de chaleur radiative dépend de la différence entre la température moyenne radiante des parois environnantes et la température de corps.

I.3.5. Le bilan thermique :

L'équation du bilan thermique du corps humain, à l'équilibre s'écrit (ASHRAE, 1997) :

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} + S$$

M = taux du métabolisme.

W = travail mécanique.

Q_{res} = flux de chaleur échangé par voie respiratoire.

Q_{sk} = l'échange de chaleur à la surface cutanée (convection + rayonnement + conduction).

S = chaleur emmagasinée dans le corps (chaleur intérieure + chaleur de la peau).

C_{res} = flux de chaleur échangé par convection respiratoire.

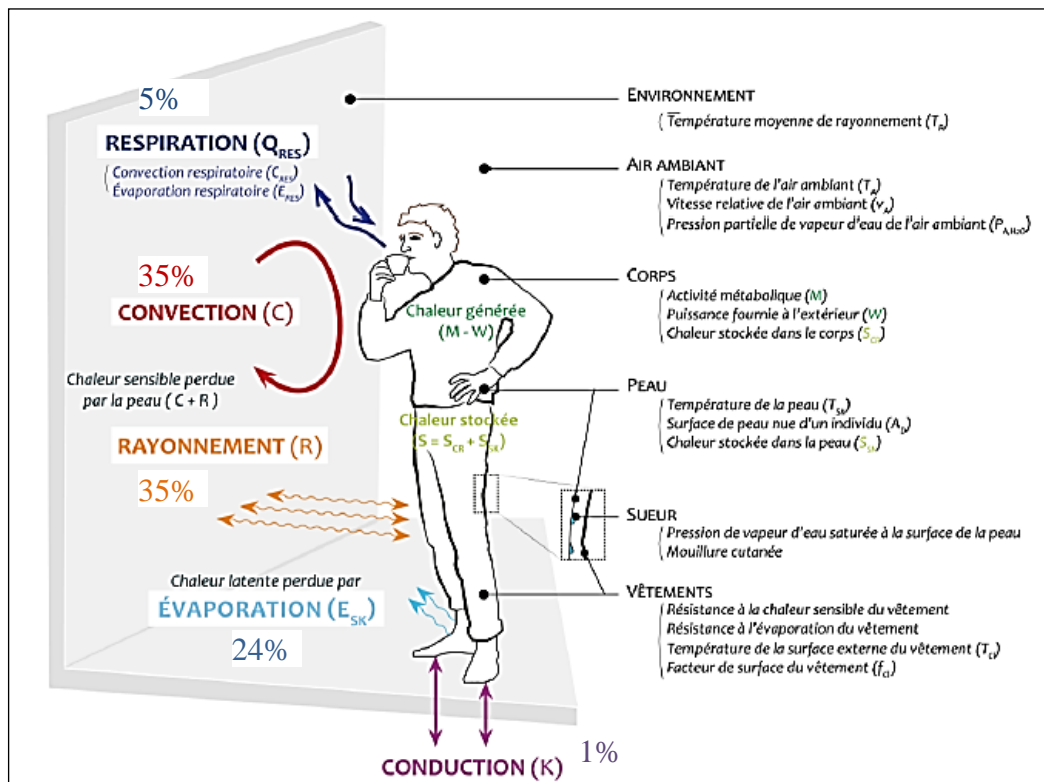


Figure I.1: l'échange de chaleur entre le corps et son environnement. (Source :Batier, 2016)

I.4. Les paramètres affectent le confort thermique :

Les conditions dans lesquelles le corps atteint l'équilibre thermique, dépendent des facteurs qui sont d'ordre individuel ; l'activité et le vêtement, et d'autres liées à l'environnement tels que la température de l'air, la température de rayonnement des parois périphériques, la quantité de l'humidité présente dans l'air et la vitesse de l'air. Givoni (1978) affirme qu'un

environnement confortable sur le plan thermique peut être réalisé essentiellement par la combinaison de ces facteurs. Ces derniers peuvent être regroupés en deux catégories à savoir :

I.4.1. Les facteurs liés à l'individu :

I.4.1.1 L'activité métabolique :

C'est l'état d'activité du corps humain, un processus par lequel les aliments absorbés par le corps se combinent avec l'oxygène pour générer l'énergie requise pour le fonctionnement et l'entretien des divers organes du corps (Givoni, 1978). Cette énergie est dégagée en forme de chaleur, elle dépend de l'état de santé, l'âge, le sexe et le type d'alimentation. La puissance métabolique est donnée par rapport à la surface corporelle. Elle est exprimée souvent en **Met**, l'unité de Met est égale à 58.15 W/m² (puissance de 58w de chaleur dissipée par mètre carré de surface de corps) et correspond au métabolisme d'un individu assis au repos (Moujalled, 2007, p. 29).

Selon Fabbri (2005), le métabolisme est divisé en trois postes :

- **Métabolisme de base** : c'est la production de chaleur minimale nécessaire pour le maintien des fonctions vitales de l'organisme. Il dépend du poids, de la taille, de l'âge et du sexe.
- **Métabolisme de repos** : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratiques de repos du corps, (couché, assis, debout).
- **Métabolisme de travail** : lié au type d'activité : il correspond à l'activité particulière de la personne s'ajoute au métabolisme de base du corps, (repos, activité physique légère, activité moyenne, activité forte, etc.) (Fabbri, 2015, p. 36).

Activité	Dégagement de chaleur		
	[Met]	[w/m ²]*	[w/pers]**
Couché, inactif, sommeil	0,8	46	83
Assis inactif	1,0	58	104
Activité sédentaire (bureau, lecture, études)	1,2	70	126
Debout, inactif	1,2	70	126
Activité légère, debout (magasin, établi, laboratoire)	1,6	93	167
Travail debout (ménage, atelier)	2,0	116	209
Marche (4 km/h)	2,8	162	292
Travail intensif (mécanique lourde)	3,0	174	313
Marche (5 km/h)	3,4	197	354
Course (10 km/h)	8,0	464	834

*Par apport à la surface du corps

** valable pour une personne de 1,8 m² de surface corporelle (par ex. taille 1.7 m, poids 69 kg)

Tableau I.1: Taux de métabolisme moyen correspondant à diverses activités.
(Source : Roulet 2004), (en ISO 7730).

I.4.1.2 L'isolement vestimentaire :

Les vêtements interviennent dans l'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à travers leurs résistances thermiques aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Cet isolement peut s'expliquer comme l'isolation d'une maison qui crée une résistance thermique en conservant la chaleur à l'intérieur.

L'évaluation de cette résistance thermique de vêtements, se fait à partir un modèle simple, qui considère les vêtements comme une seule couche à travers laquelle les transferts de chaleur se font uniquement par conduction entre la peau et la surface du tissu. Elle est mesurée et exprimé en $\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$. Comme la définition de l'isolement vestimentaire inclut les parties non couvertes du corps comme la tête et les mains, il est usuel d'utiliser l'unité clo (clothing) pour exprimer cet isolement vestimentaire. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$. L'unité de clo correspond à l'isolement nécessaire au maintien de la balance thermique de l'homme sédentaire, pour des conditions normalisées, à température de 21 °C et en air calme ($< 0,2$ (Moujalled, 2007).

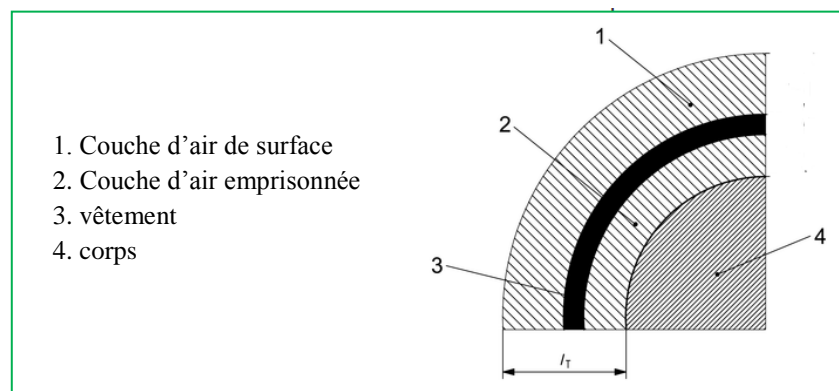


Figure I.2: Représentation schématique de l'isolement thermique.
(Source :ISO 9920.2007)

Le tableau ci-dessous, donne des valeurs de résistance thermique de quelques tenues vestimentaires types d'après la norme ISO 7730, en [clo] et en $[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$:

Tenue vestimentaire	[clo]	$[\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}]$
Nu, debout	0,0	0,0
Shorts, costume de bain	0,1	0,015
Tenue tropicale :		
Slip, chemise courte à col ouvert, shorts, chaussettes légères et sandales	0,3	0,045
Tenue d'été :		
Slip, chemise courte, pantalons longs légers ou jupe chaussettes légères et chaussures.	0,5	0,08
Tenue de travail légère :		
Sous-vêtements légers, chemise courte à col ouvert, pantalons de travail, chaussettes et chaussures	0,7	0,11
Tenue d'intérieur d'hiver :		
Sous-vêtements, chemise à manches longues, pull-over, pantalons ou robe, chaussettes épaisses et chaussures	1,0	0,15
Tenue de ville d'hiver :		
Idem mais sous-vêtements à manches et jambes longues, et veste.	1,5	0,23
Tenue d'hiver fourrée		
	3,0	0,45

Tableau I.2: Valeurs en clo pour quelques habillements. (Source : Morel, 2007, EN ISO 7730).

I.4.2. Paramètres liés à l'environnement : le microclimat intérieur du bâtiment

I.4.2.1 La température ambiante de l'air (T_a) :

C'est la température sèche de l'air intérieur mesurée à l'ombre qui, entourant le corps humain, elle affecte l'échange de chaleur du corps par **convection** donc sur la sensation du confort de l'utilisateur. L'effet de la température de l'air sur le confort thermique est pris à deux niveaux :

Au niveau respiratoire : Dans une enceinte close, le sens de pertes thermique est déterminé par la différence de température entre l'air ambiant (inspiré) et l'air expiré (34° en moyenne) par l'homme. Aussi quand l'air est chaud, il va provoquer de la gêne à cause d'une ventilation insuffisante (Boutabba, 2007, p. 59).

Au niveau de la peau : Il s'agit de la différence de température entre l'air ambiant et la peau. Cependant, un réchauffement ou un refroidissement convectif local du corps causé par un courant d'air (0.15 m/s en hiver et 0.25 m/s en été à l'intérieur pour un travail sédentaire) cause l'inconfort à l'occupant. Aussi, une grande différence de température verticale de l'air entre les parties inférieures et supérieures du corps (gradient vertical) engendre une sensation d'inconfort (Boutabba, 2007, p. 59). La norme ISO 7730(1995) définit une plage de limite de 3°C acceptable entre 0.1 m et 1.1 m du sol, et pour une personne assise effectuant une activité sédentaire (Boutabba, 2007). Le premier objectif du confort est de maintenir une plage de température stable (19 - 26°C en moyenne)², la deuxième condition de confort, avoir une bonne homogénéisation de la température dans l'espace.

I.4.2.2 Humidité relative (Hr) :

C'est le rapport exprimé en pourcentages entre la quantité d'eau contenue dans l'air à température ambiante et la quantité maximale d'eau que cet air peut contenir à la même température et la même pression (Pierrès, 2014). Cette valeur limite dépend de la température de l'air, plus l'air est chaud plus peut contenir une quantité importante d'humidité à l'état de vapeur d'eau. Cette grandeur physique influence les échanges de chaleur dus à l'**évaporation** par respiration et transpiration. Lorsque l'air contient une quantité maximum de vapeur d'eau, l'homme sent une gêne au niveau de la respiration, et il se trouve une difficulté de le faire (Pierrès, 2014).

En été la sensation d'inconfort est plus grande dans l'air humide que dans l'air sec, puisque l'évaporation de la sueur qui règle la température de peau est alors ralentie « les couches externes de la peau ne peuvent pas maintenir un taux de transfert de l'eau suffisant de l'intérieur de corps vers son environnement » (Givoni, 1978). Une humidité de l'air peut varier de 35% à 70% sans causer de désagrément particuliers, au-dessous de 20% , l'air nous paraît trop sec car on ressent un assèchement (Courgey & Oliva, 2006, p. 30). Au-dessus de 75% l'évaporation rend difficile de se faire.

En général, une ambiance est perçue désagréable lorsque l'humidité relative est trop faible (inférieure à 30%) ou trop importante (supérieure à 70%) (Harijaona, 2001). Le graphe dans la Figure I.3 ci-dessous, montre la zone de confort, dans laquelle une sensation confortable,

²Selon, AI environnement, « Bureau d'études d'aide à la conception et d'ingénierie thermique et environnementale ». France la plage de confort est varié énormément d'un individu à un autre, et selon les facteurs tels que, l'âge le sexe et l'acclimatement.

peut se situer dans une ambiance où la température peut varier de 20 °C à 22 °C, avec une humidité relative qui peut varier de 35% à 70%.

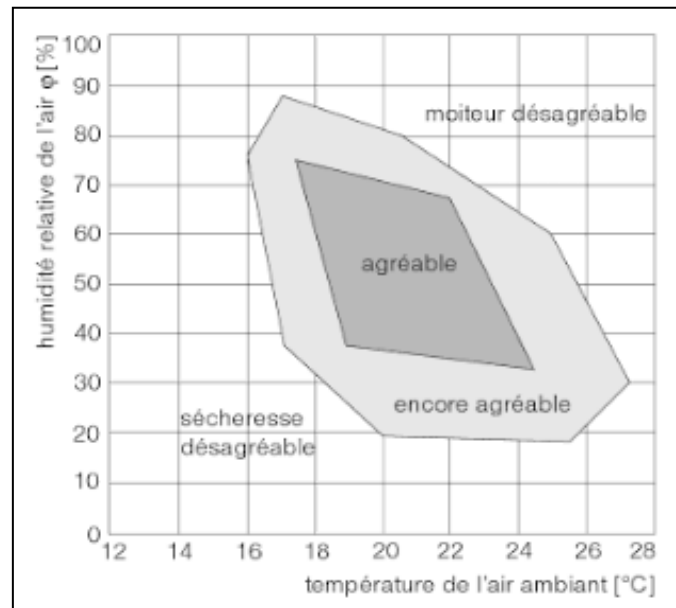


Figure I.3: confort en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative.

(Source: Hegger, Fuchs, Stark, & Zeumer, 2011)

I.4.2.3 La vitesse de l'air (V_a) :

C'est la vitesse à laquelle le flux d'air se déplace et elle varie d'un endroit à l'autre. Dans un local, ce paramètre influence les échanges de chaleur par **convection** ensuite la capacité de l'évaporation à la surface de la peau et donc la température du corps (Givoni, 1978, p. 82)

Selon la norme 55-1992 d'ASHRAE, à l'intérieur des bâtiments, il est préférable que les vitesses de l'air ne doivent pas dépasser généralement **0,15 à 0,2 m/s** pour préserver la sensation de confort thermique de l'occupant (Builder, 2014).

Les effets de température et de vitesse de l'air sur les échanges de chaleur sont solidaires (Givoni, 1978, p. 83). Un air froid qui s'écoule le long de corps sera plus rapidement perçu comme courant d'air par apport un flux d'air chaud (Dhondt, 2013). Cela explique que, pour chaque température ambiante il y ait une valeur optimale de vitesse d'air. Dans l'expérience qui est montrée en Figure I.4, une zone de confort hachurée en fonction de deux paramètres combinés (température et vitesse de l'air). Pour des températures d'air ambiant de 20°C, les vitesses de l'air supérieures à 0,15 m/s, sont déjà ressenties comme désagréables. Lorsque ces températures dépassent 23°C, elles contribuent toutefois à améliorer le confort thermique par la dissipation de la chaleur corporelle (Hegger, Fuchs, Stark, & Zeumer, 2011, p. 57).

Dans les climats chauds, les mouvements d'air abaissent la température élevée, ce qui provoque une sensation de fraîcheur ou favorise la déperdition par évaporation, donc l'amélioration de confort est due par la favorisation de courant d'air.

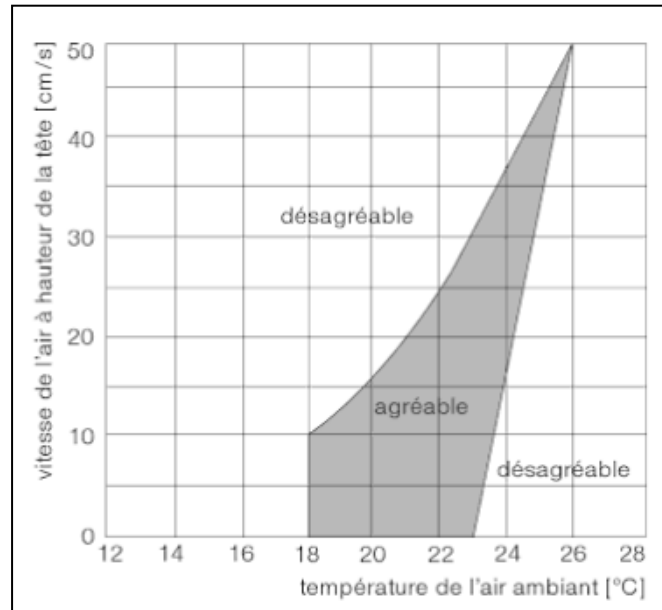


Figure I.4: confort en fonction de vitesse de l'air et de température ambiante. (Source: Hegger, Fuchs, Stark, & Zeumer, 2011).

I.4.2.4 La température radiante moyenne (T_r) :

Dans une pièce qui a plusieurs parois à des températures différentes, les échanges entre les parois se font par rayonnement. La température homogène qu'aurait une pièce imaginaire dans laquelle le rayonnement reçu à cet endroit serait le même que dans la pièce réelle est appelée la température radiante moyenne (Roulet, 2004).

La valeur de cette température est très importante dans la sensation de confort ou d'inconfort thermique, en été comme en hiver. Une paroi chaude comme un vitrage simple en été, elle rayonne vers le corps, produisant une sensation de chaleur. Inversement si elle est plus froide en hiver, absorbe le rayonnement chaud du corps et produit une sensation de froid (Courgey & Oliva, 2006). Le résultat est alors, un refroidissement ou un réchauffement des parties du corps par **radiation**.

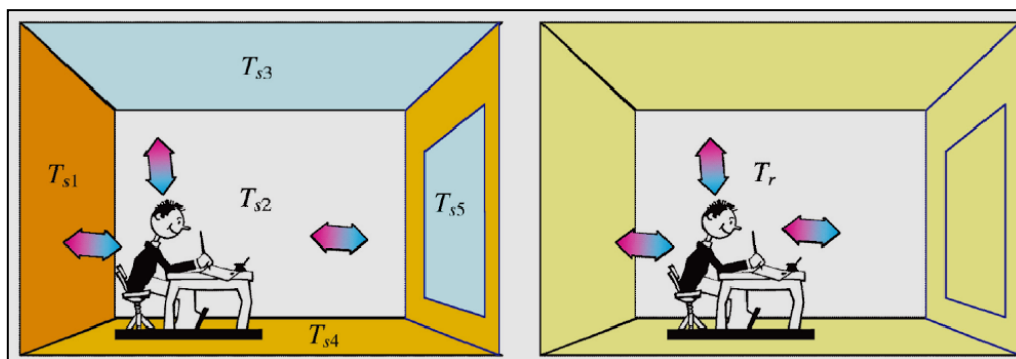


Figure I.5: représentation de la température radiante dans une pièce. (Source : ROULET, 2004)

Cette quantité moyenne du flux de chaleur par rayonnement qu'un individu échange avec son environnement dépend :

- De la Température des parois
- De l'angle solide que l'on fait avec chacune d'elle

La température radiante est calculée comme la valeur moyenne des températures des surfaces pondérées par l'angle solide³ sous laquelle la personne voit la surface.

Température radiante = Σ (des T°C de parois x angle solide fait avec chacune d'elle) / 4π

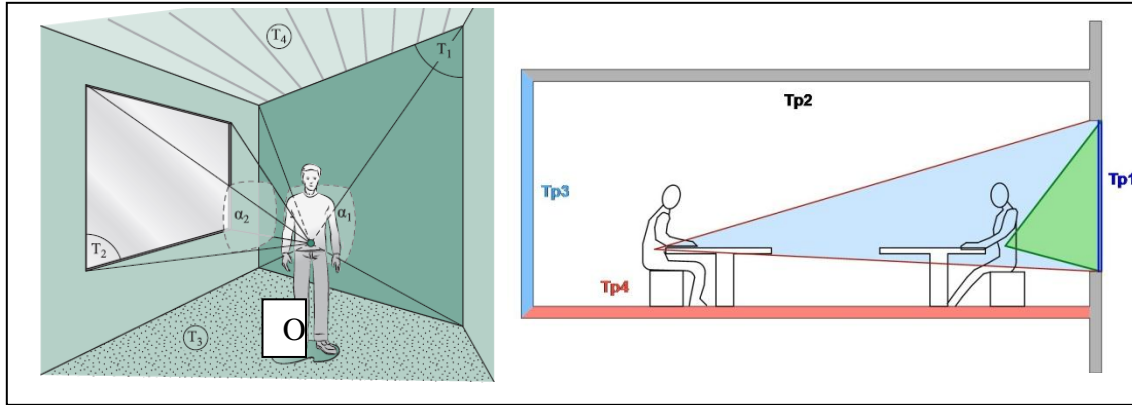


Figure I.6: Schémas de principe d'angle solide et situation de confort.
(Source : Fernandez, Lavigne, 2009)

Lorsque la personne se positionne approximativement au centre d'une pièce proche d'un cube, il est possible de déterminer la température radiante moyenne, comme la moyenne des températures de surface, pondérée par les surfaces des parois.

$$\text{Température radiante} = \frac{\Sigma (\text{des T}^\circ\text{C de parois} \times \text{surface de parois})}{\Sigma \text{ des surfaces de parois}}$$

I.5. Les approches de confort thermique :

Il existe dans la recherche contemporaine sur le confort thermique dans le bâtiment deux approches, que sont des modèles **d'équilibre thermique** ou analytique basés sur des études en laboratoire et des modèles **adaptatifs** basés sur des études de terrain. Les deux méthodes ont été soutenues par un grand nombre d'études de laboratoire et de terrain.

I.5.1. L'approche analytique :

Cette approche est basée essentiellement sur une évaluation du bilan thermique du corps humain du point de vue des variables physiques et physiologique avec l'ambiance thermique. Le calcul du bilan thermique est pour objectif de prédire la sensation thermique des occupants au sein de leur espace, ce qui permet ainsi l'identification des conditions de confort thermique. Cette approche utilise les grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température d'air, température de rayonnement, humidité d'air et vitesse d'air), et les caractéristiques physiologiques de l'individu (taille et poids de l'individu, production de chaleur métabolique, caractéristiques des vêtements...) comme des variables d'entrée. Les variables de sortie sont les indices qui prévoient la sensation thermique ou le niveau de confort pour les conditions étudiées (Cantin, Moujalled, & Guarracino, 2005).

³On appelle un angle solide de sommet (O) le volume engendré par les demies droites d'origine (O) qui rencontrent la sphère et qui passant par les contours de chaque paroi. Les angles solides se mesurent en Stéradian. L'angle solide maximum est de 4π sr. (Voir Figure I.6).

Les modèles utilisés pour évaluer le niveau de confort thermique à l'intérieur du bâtiment, sont celui de Fanger (1970), il s'agit d'un calcul ramenant à un indice PMV (le vote Moyen Prévisible) caractérisant l'individu et l'ambiance. L'autre est celui de Gagge, qui a développé l'indice thermique de température efficace standard (SET), et la comparer avec la Température effective (ET) ressenti par l'individu (Cantin, Moujalled, & Guarracino, 2005).

I.5.1.1 Le modèle de Fanger PMV-PPD

Ce modèle a été développé par Fanger dans les années soixante-dix, il s'agit d'une méthode basée sur les calculs statistiques, et qui consiste à évaluer l'ambiance thermique pour déterminer les critères de confort thermique. Cette méthode est largement utilisée dans les études sur le confort thermique (Moujalled, 2007, p. 42), ses principes de calculs et ses résultats ont été intégrés dans les normes européennes (ISO7730) et américaines (ASHRAE Standard 55).

Cette méthode a été développée dans des chambres climatiques (climats homogènes), où il y avait 1300 personnes. Sous différentes expériences d'ambiances thermiques et vêtus de vêtements, Fanger a demandé de ces personnes présentées dans ces chambres, d'évaluer leur sensation thermique. Celles-ci, ont conduit à la caractérisation du confort thermique à partir d'un indice appelé : le PMV « Predicted Mean Vote ». L'indice PMV représente le vote moyen de la sensation thermique d'un groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique à sept niveaux d'ASHRAE Tableau I.3 (Batier, 2016, p. 52).

ECHELLE d'ASHRAE
- 3 = Très froid
- 2 = Froid
-1=Légèrement froid
0 = Ni chaud, ni froid
+ 1 = Légèrement chaud
+ 2 = Chaud
+ 3 = Très chaud

Tableau I.3: Echelle ASHRAE de caractérisation du confort.

Le PMV est évalué du bilan thermique du corps, et calculé à partir d'une équation qui combine les paramètres physiques de l'environnement (température de l'air, humidité relative, température moyenne de rayonnement et vitesse de l'air) et ceux personnels (isolement vestimentaire et niveau d'activité). Une sensation de confort est atteinte lorsque le vote moyen correspond à une valeur PMV égale 0, cette valeur peut aller à jusqu'à +0.5 ou -0.5, où dans cet intervalle, la sensation confortable (ni chaud ni froid) peut toujours exister (Batier, 2016, p. 52).

Fanger a conclu que dans n'importe quel cas des conditions climatiques données, il y toujours un pourcentage de personnes qui sont insatisfaites de ces conditions, alors il a lié le PMV à un autre indice appelé PPD, qui va exprimer le pourcentage des personnes insatisfaites dans l'ambiance considérée (Batier, 2016). Cependant, pour un vote de 0 (PMV=0), soit une situation de confort thermique optimale, il y a encore un pourcentage de personnes insatisfaites PPD de 5%.

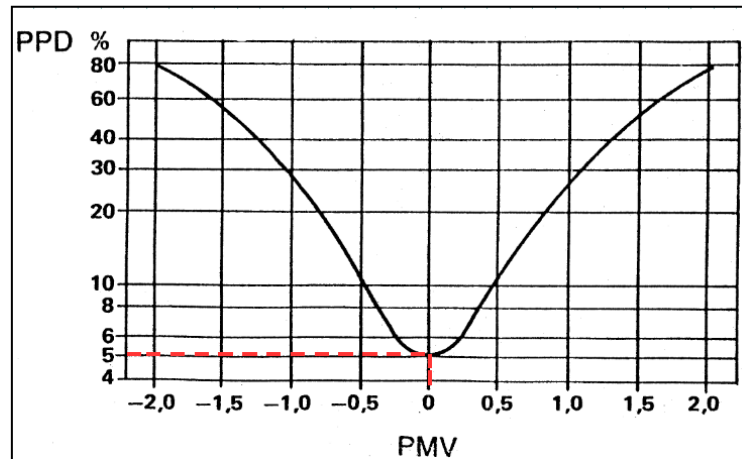


Figure I.7: relation du pourcentage prévisible d'insatisfaits(PPD) en fonction du vote moyen(PMV) sur l'échelle ASHRAE. (Source : Bonté, 2014)

Ce pourcentage (5%) d'insatisfaits resté montre qu'il est impossible de satisfaire tout le monde, alors il est important de chercher un environnement thermique qui peut satisfaire le maximum de personnes. Le pourcentage d'insatisfaits augmente d'un part et d'autre en allant d'une valeur de vote (PMV)= 0 vers le sens chaud ou le sens froid. Alors, à partir des votes qui sont extérieurs à l'intervalle (-1, 1), le pourcentage de personnes insatisfaites est pris en considération. Ceci, explique qu'une situation d'inconfort va apparaître lorsque le pourcentage des personnes d'insatisfait est supérieur à 10%.

I.5.1.2 Modèle de Gagge : SET :

Gagge a écrit un modèle pour l'équilibre thermique du corps humain, dit : **modèle à deux nœuds**. Il a représenté dans ce modèle, le corps humain en deux nœuds, respectivement le centre de corps (**noyau**) et la surface (**peau**). La peau joue le rôle d'interface et échange avec le corps grâce à la conduction tissulaire et la convection sanguine.

Le « noyau » (centre de corps) produit de l'énergie par l'activité métabolique et le travail mécanique (muscles), la « peau » échange également de l'énergie avec l'environnement suivant les mécanismes physiques de thermorégulation, tels que ; la convection, de l'évaporation, du rayonnement, de la convection respiratoire et de l'évaporation respiratoire.

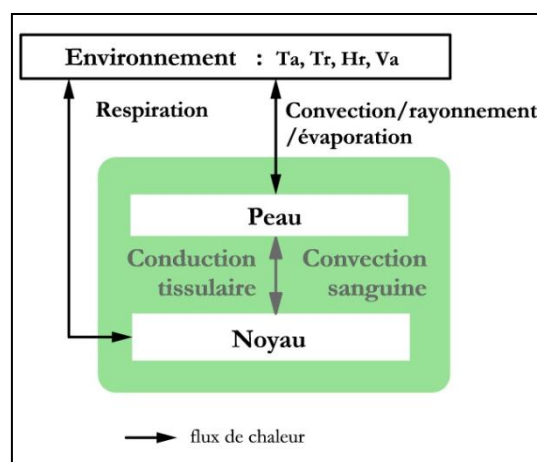


Figure I.8: Représentation du modèle physiologique à deux nœuds de Gagge. (Source : Moujalled, 2007 réadapté par l'auteur).

Ces mécanismes thermo physiologiques faits par le noyau et la peau, sont traduits sous forme d'équations, permettant de déterminer une valeur de température effective « ET » qui dépend de l'habillement et de l'activité métabolique de l'individu (Batier, 2016).

Alors, pour caractériser la température ressentie chez l'individu, Gagge a développé l'indice de la température standard effective SET. Elle représente la température équivalente à une température dans un environnement standard (Parsons, 2002) ($H_r = 50\%$, $T_a = T_r$ et $V_a < 0.15$ m/s). Dans cette enceinte standard la personne qui porte des vêtements standardisés par rapport à son activité, aurait la même perte de chaleur, la même moiteur de la peau et la même température de peau que dans l'environnement réel dans lequel il se trouve (Batier, 2016).

SET (°C)	Sensation	État physiologique d'une personne sédentaire
>37,5	Extrêmement chaud, très inacceptable	Échec de la régulation
34,5 – 37,5	Très chaud, très inacceptable	Sudation profuse
30,0 – 34,5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sudation
25,6 – 30,0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Vasodilatation
22,2 – 25,6	Confortable, acceptable	Neutralité
17,5 – 22,2	Légèrement froid, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14,5 – 17,5	Froid, inacceptable	Refroidissement ralenti du corps
10,0 – 14,5	Très froid, très inacceptable	Frissons

Tableau I.4: Relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique.
(Source : (Parsons, 2002, cité par Bâtier, 2016)

I.5.2. L'approche adaptative :

Dans l'approche analytique du confort thermique, réalisée en chambres climatiques, les sujets exposés étaient souvent dépourvus de toute sorte de moyens pour s'adapter à leur environnement, dans ce stade, les chercheurs ont voulu valider ces modèles analytiques dans des situations réelles par des études in situ. C'est ainsi que, l'approche adaptative a été développée en tenant compte de la sensation thermique des occupants et des différentes actions pour s'adapter à l'environnement thermique. Le mot adaptation, issu de la capacité de l'occupant à s'adapter aux les conditions thermiques où il se trouve, pour maintenir son état de confort thermique (Bonte, 2014, p. 30).

L'approche adaptative est définie par Kalz & Pfafferott (2014) sur l'hypothèse est que les gens sont capables d'agir comme « maître » de leur environnement et que l'inconfort perçu est un déclencheur des réponses comportementales à l'environnement thermique. Les gens réagissent de manière à répondre à leur sensation thermique, pour s'adapter à l'environnement thermique par une série d'actions comportementales, ajustements de vêtements, d'activité ou de positions psychologiques.

Yao, (2013) définit à son tour l'adaptation comme le mécanisme qui a lieu, quand les gens s'ajustent pour améliorer leur bien-être grâce à des réactions physiologiques, psychologiques et comportementales aux stimulés environnementaux. Ces actions étant définies comme «

comportement des occupants ». Cette mesure dans laquelle l'environnement permet un tel comportement pour s'y adapter est appelée **l'opportunité d'adaptation**.

Il existe principalement deux grandes études internationales concernant le confort adaptatif. La première est celui du projet de recherche RP-884, dirigé par par Dear, Brageret Cooper, (1997). Cette étude a été incorporée dans la norme américaine (ASHRAE standard 55-2004). La deuxième est le projet SCAT's (Smart Control And Thermal Comfort) conduit par (Nicol, McCartney, Fergus, 2002). Les résultats de ce projet portant sur le modèle adaptatif, ont servi de base à la norme européenne EN 15251 (Batier, 2016).

I.5.2.1 Le projet SCAT's :

Ce projet est basé sur des études in situ de l'état de confort, et qui sont réalisées au niveau de 26 bâtiments de bureaux répartis dans cinq pays (Royaume Uni, France, Suède, Grèce, Portugal). Le but était la détermination d'une température de confort dans les bâtiments naturellement ventilés dans ces contextes (Bonte, 2014). Aussi un autre objectif visé était la réduction des dépenses énergétiques nécessaire au garanti d'un climat thermique à une température constante dans les bâtiments (Batier, 2016).

I.5.2.2 Projet RP-884 :

Ce projet de recherche a été pour but de développer un modèle adaptatif du confort thermique en complétant le modèle rationnel de la norme ASHRAE-standard 55, qui se base sur l'étude du bilan thermique de corps humain. Pour cela, l'équipe de recherche de ce projet, assemblé les résultats de différentes recherches faites sur terrain à travers le monde. Ils ont construit après, une base de données qui comporte 21000 observations, collectées dans 160 bâtiments à situés dans différentes zones climatiques (Moujalled, 2007). Dans cette base de données, deux caractères de bâtiments ont été sélectionné selon l'action de l'occupant :

- ✓ Les bâtiments climatisés, ici le contrôle des fenêtres par l'occupant est absent.
- ✓ Les bâtiments naturellement ventilés, ici l'occupant a l'opportunité d'ouvrir et de fermer les fenêtres pour régler les conditions thermiques.

En somme, cette démarche adaptative a permis d'établir un lien entre température de confort et le climat extérieur sur la base de l'équation suivante :

$$T_{\text{conf}} = \alpha \times T_{\text{ext}} + \beta$$

T_{conf} : Température intérieure de confort optimal, °C

T_{ext} : Température extérieure, °C

$\alpha + \beta$: Constantes sans unité, sont donnés suivant l'auteur

La variable du T_{ext} du climat extérieur utilisé dans l'équation peut prendre trois formes :

T_{mm} : température moyenne mensuelle.

T_{dm} : température moyenne quotidienne.

T_{mr} : température moyenne mobile.

Le Tableau I.5 en dessous montre quelle variable du T_{ext} est utilisée dans l'équation et les coefficients α et β suivant quelques auteurs.

Auteur	α	β	Text
Humphreys, 1978	0,53	11,9	T_{mm}
De Dear et Brager, 1998	0,55	13,5	T_{mm}
Humphreys et Nicol, 2000	0,53	13,2	T_{rm}
ASHRAE standard 55-2004	0,31	17,8	T_{rm}
Toe et Kubota, 2013- climat sec et chaud	0,58	13,7	T_{dm}
Toe et Kubota, 2013 – climat tempéré	0,22	18,6	T_{dm}
Toe et Kubota, 2013 – climat humide et chaud	0,57	13,8	T_{dm}

Tableau I.5: Récapitulatif des différents coefficients du modèle adaptatif pour certains auteurs.

(Source : Bonte, 2014)

Les chercheurs (De Dear et Brager, 1998) ont distingué trois catégories d'opportunité d'adaptation : comportementale, physiologique et psychologique.

- **L'adaptation comportementale** : ce sont les actions et les changements que l'individu réalise dans le but de s'ajuster à son milieu (actions personnelles ou sur l'environnement).
- **L'adaptation physiologique** : ce sont les réactions physiologiques (convection, évaporation, transpiration) du corps humain lorsque l'environnement thermique change, (modes d'échange thermiques corps-environnement).
- **L'adaptation psychologique** : selon R.Yao (2016), elle concerne la modification de la perception de *l'expérience thermique* c'est-à-dire l'habitude à être dans un environnement avec une certaine température (Batier, 2016). Elle est liée aux conditions de confort intérieur attendues « température habituelle » par les occupants et de tolérance par rapport à la variation de température. De Dear and Brager, 1998, cité par Parsons, (2002, p281) *expliquent* que cette adaptation psychologique *se réfère à la perception modifiée et à la réaction à l'information sensorielle due à l'expérience passée et aux attentes* »

I.6. Les indices d'évaluation de l'ambiance thermique :

Les facteurs de l'environnement ; température, l'humidité et la vitesse de l'air affectent le corps humain de manière simultanée. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer les réponses physiologiques et sensorielles du corps humain par une combinaison des effets de facteurs de l'ambiance. En conséquent, quand ces facteurs sont combinés dans une seule formule, tout en obtenant un seul paramètre significatif, le résultat est connu sous le nom : **indice thermique** (Givoni, 1978). Ainsi, ces indices peuvent simplifier la description de l'environnement thermique et le stress qu'il impose au corps humain. De nombreux travaux de recherche ont été menés en se basant sur les différentes réponses physiologiques et sensorielles de l'organisme dans le but de développer les indices thermiques.

Ces indices comme moyen de définir l'impression thermique, tendent à une estimation des réactions physiologiques aux effets combinés des facteurs de l'environnement thermique et de l'activité. Nous citons ici quatre indices ; la température opérative, les indices PMV, PPD et la température effective.

I.6.1. L'indice de température opérative (résultante) (TR) :

Est un indice qui exprime la relation entre la température radiante moyenne des parois et la température de l'environnement, en tenant compte des phénomènes dus à l'échange de chaleur par convection et rayonnement. Il est défini comme la température d'une enceinte fermée noire dans laquelle un individu échangerait la même quantité de chaleur par rayonnement et par convection que dans son environnement réel. (Sacré, 1983). Cet indice est fiable pour déterminer des réactions des sujets au repos ou engagés dans une activité sédentaire (Mazouz, 2002). Cette température opérative peut être obtenue par la relation :

$$T_{op} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_r \quad \text{où} \quad \alpha = 0.5 + 0.25v$$

T_a = température d'air, °C

T_r = température moyenne radiante, °C

v = vitesse de l'air, m/s

α = paramètre dépendant de la vitesse d'air (souvent voisine de 0,5).

Si la vitesse de l'air est négligeable ou inférieure à 0,2m/s, ce qui est souvent le cas lorsqu'il n'y a pas de courants d'air, la température opérative est obtenue de la moyenne arithmétique de la température de l'air et de la température radiante (Roulet, 2004).

$$T_{op} = T_a + T_r / 2$$

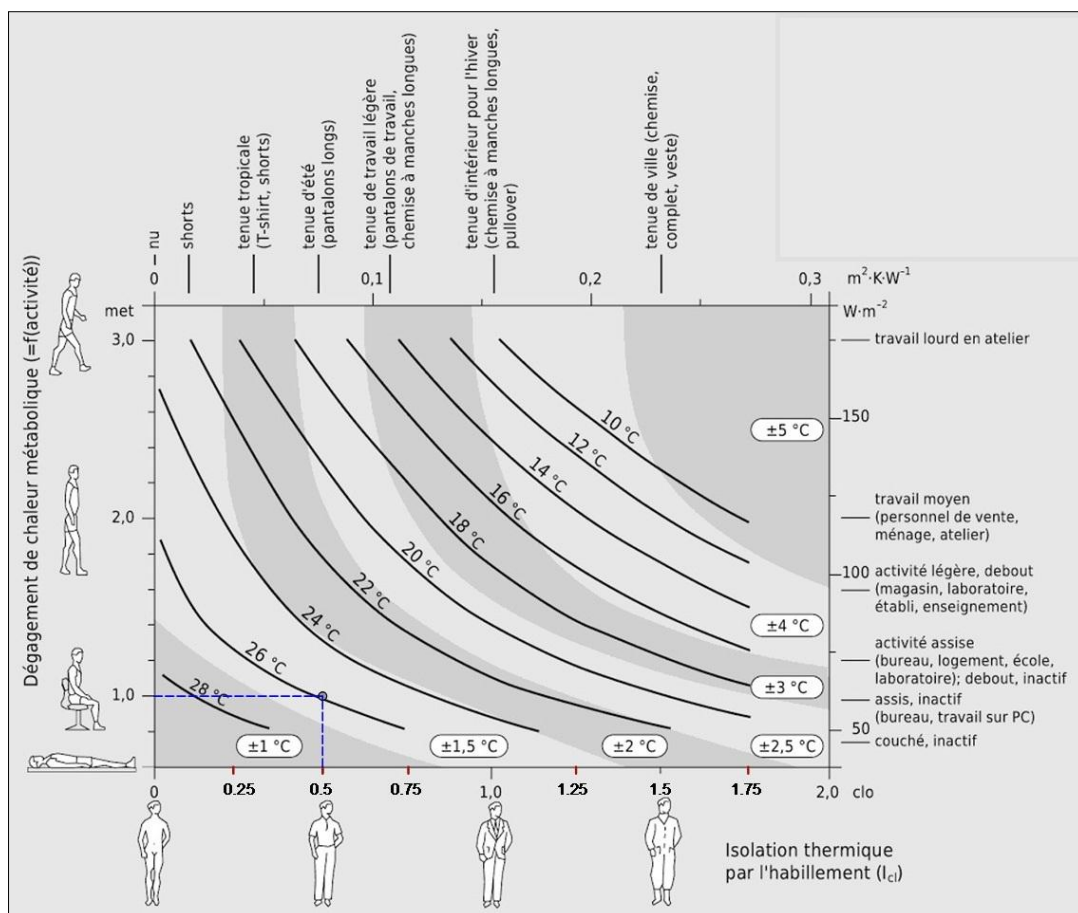


Figure I.9:diagramme de température opérative idéale (ISO : 7730) en fonction de l'habillement et du métabolisme. (Source : Zürcher & Frank, 2014).

L'axe horizontal du diagramme indique la résistance thermique d'habillement en « clo », l'axe vertical indique le type d'activité pour différentes situations, en « met ». Ainsi à chaque habillement et activité correspond une température opérative qui satisfera un maximum d'individu. Puis, pour chaque plage une tolérance acceptable de température, qui est représenté par les bandes blanches et grises et qui indique un $PMV=\pm 0.5$ c'est-à-dire un PPD < 10% d'insatisfait. Les lignes indiquant $PMV=0$ c.à.d. $PPD=5\%$ d'insatisfait.

Par exemple, pour une activité assise (bureau) « 1met », et avec de tenu d'été (tricot demi manche plus pantalons long) « 0.5clo », on trouve la valeur de température se situe dans la bande de ± 1.5 °C, donc la température opérative acceptable est entre 24.5°C et 27.5 °C avec un vote $PMV=\pm 0.5$ et 510% d'insatisfait.

I.6.2. L'indice PMV (vote moyen prévisible) :

Cet indice est déjà discuté dans la section ci-dessus (voir I.5.1.1), il est établi pour prédire la valeur moyenne de votes (expressions subjectives) d'un groupe de personnes sur l'échelle de sept niveaux de perception thermique ASHRAE. Son équation se calcule en fonction du métabolisme et d'habillement et les quatre paramètres du climat thermique intérieur. Cette équation nécessite des outils sophistiqués pour la résoudre.

$$PMV = 0,303(\exp(-0,036M) + 0,028) L$$

M : métabolisme.

L : l'écart dans le bilan thermique.

I.6.3. L'indice PPD (Le pourcentage prévisible d'insatisfaits) :

Un indice qui établit une prévision quantitative du pourcentage de personnes insatisfaites thermiquement, susceptibles trouvant l'ambiance trop chaude ou trop froide. Son équation est calculée à partir de l'indice PMV. La relation entre les deux indices est montrée dans la Figure I.7 ci-dessus.

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)]$$

I.6.4. L'indice de température effective (TE) :

Cet indice est développé en 1923 au laboratoire ASHRAE⁴, suite aux expériences sur des personnes demi-nus et habillées se déplaçant entre deux pièces ayant différentes combinaisons de facteurs d'ambiance. (Température de l'air, humidité et vitesse de l'air) Les conditions dans une pièce étaient réglées de manière à ce que les sujets éprouvent la même sensation thermique dans les deux pièces. L'unité de base est un environnement standard (Parsons, 2002, p. 72), (air saturé (h=100%), $T_a=Tr$, vitesse d'air < 0.15m/s)

Toute combinaison à une valeur donnée de TE est sensé produire la même impression thermique, celle-ci égale à celle expérimentée dans l'air calme saturé (Givoni, 1978)(environnement standard). Deux abaques ont été développés : l'un pour des personnes nues jusqu'à la ceinture (température effective de base) et l'autre pour des sujets normalement habillés (température effective normale). L'indice de TE, est obtenu à partir d'un abaque

⁴American Society of Heating and air Conditioning Engineers.

grâce à toute combinaison des températures de l'air sec, de l'humidité et de vitesse de l'air. Ces diagrammes restent valables tant que la température de l'air égale la température résultante.

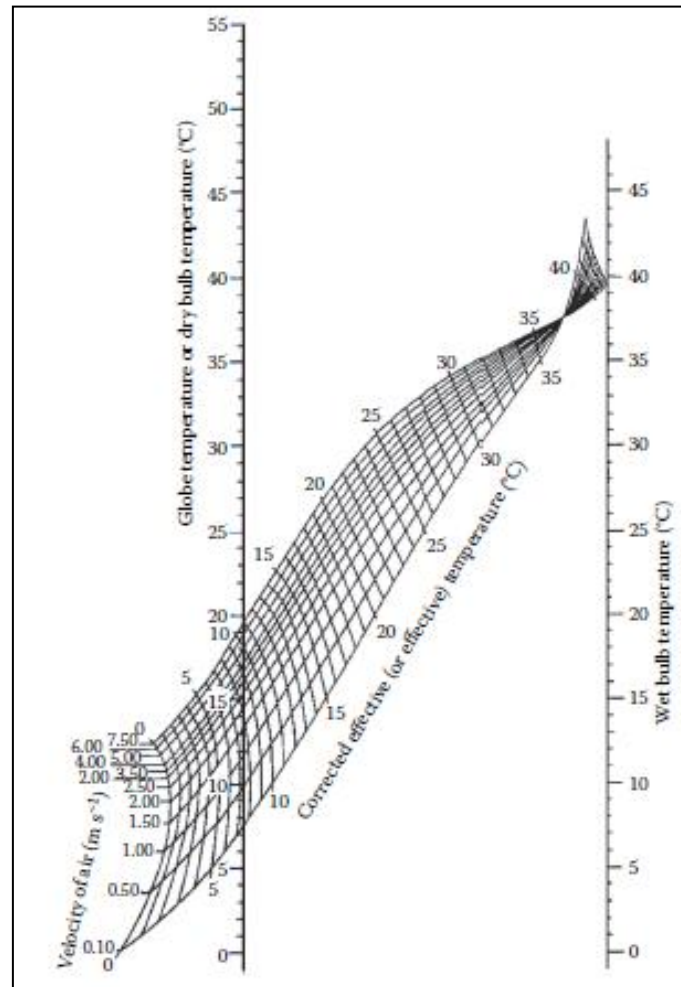


Figure I.10: Abaque pour la détermination de la température effective normale.
(Source : Parsons, 2002)

I.7. Les échelles de sensation thermique :

La sensation thermique est la façon dont les gens se sentent, c'est une expérience sensorielle et un phénomène psychologique (Parsons, 2002, p. 85). Elle est liée à la fois à un aspect qualitatif (chaud, froid) et autre quantitatif (intensité), qui caractérisent la perception thermique de l'individu. En fait, elle est déterminée par l'état thermique du corps humain. Cette dernière est d'autre part déterminée par la combinaison de paramètres de l'environnement.

Alors, la sensation thermique est évaluée, principalement pour déterminer si une condition thermique particulière est confortable pour les individus. Un certain nombre d'échelles ont été développées dans l'évaluation de la sensation thermique ; pour permettre d'exprimer la manière dont la température est ressentie. Les plus pratiquées sont les échelles à sept points de Bedford (1936) et d'ASHRAE (1966).

I.7.1. Echelle Bedford :

Bedford (1936) a fait une étude menée auprès d'un groupe de travailleurs d'usine (principalement féminine), engagées dans des travaux industriels légers, dans le but de caractériser la relation entre l'environnement physique et les sensations personnelles.

Il leur a demandé un jugement sur la sensation thermique à l'aide d'une échelle de sept niveaux, aller du chaud au froid, tout en effectuant les mesures caractérisant les paramètres physiques de l'ambiance où ils se trouvaient.

I.7.2. L'échelle ASHRAE :

L'échelle ASHRAE (association américaine des ingénieurs de chauffage et de climatisation) est développée suite aux études présentées par Rohles & Nevin (1971), sur un groupe de 1600 étudiants. La recherche a appuyé sur la mesure des relations entre le niveau du confort, de température, d'humidité, sexe et la durée d'exposition. Ses degrés sont variés de -3 (sensation chaude) à +3 (sensation froide) et pour la sensation neutre une valeur de 0 a été donnée.

L'échelle de Bedford	L'échelle de l'ASHRAE
7 Très chaud	7 (+3) Très chaud
6 Chaud	6 (+2) Chaud
5 Confortablement chaud	5 (+1) Légèrement chaud
4 Confortable	4 (0) Neutre
3 Confortablement froid	3 (-1) Légèrement froid
2 Froid	2 (-2) Froid
1 Très froid	1 (-3) Très froid

Tableau I.6: Les échelles de la sensation thermique (Source : Moujalled, 2007).

McIntyre (1980) cité par Parsons (2002) suggère que l'échelle de Bedford est moins utile car elle confond la chaleur et le confort, et que l'échelle ASHRAE se réfère uniquement à la sensation thermique.

I.8. Echelles de jugement subjectif :

En plus des réponses physiologiques et comportementales, les gens peuvent également fournir des réponses subjectives à l'environnement où ils se trouvent (Yao, 2013, p. 159). A cet effet, l'évaluation des aspects subjectifs de la perception de l'état thermique de l'individu peut également être réalisée en demandant directement aux utilisateurs des environnements intérieurs de porter leurs jugements affectifs et personnalisés. Ainsi, les réponses des personnes sont quantifiées à l'aide des échelles subjectives. En fait, une échelle de jugement est définie comme étant un outil de mesure qui fournit un ensemble de nombres et de symboles selon les objectifs de recherche (Boutabba, 2007).

J.M Fabbri (2015), distingue entre un jugement descriptif qui consiste à situer un objet relativement à une échelle de variation et un jugement évaluatif, qui introduise une prise de position du sujet vis-vis de l'objet. Il est lié à ses choix et ses préférences.

La norme européenne NF EN ISO 10551 (2001), présente les principes et la méthodologie pour la construction et l'utilisation des échelles d'évaluation des ambiances thermiques. Ces échelles permettent également au sujet, de porter un jugement subjectif, sur la qualité de son environnement thermique (Parsons, 2002, p. 130).

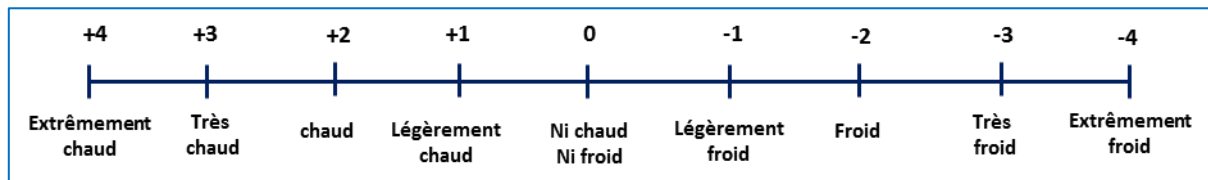
Les jugements subjectifs se divisent en deux groupes (Fabbri, 2015, p. 140) présentés dans l'ordre ci-dessous :

Le premier groupe est lié à l'« état thermique personnel » de la personne interrogée ; en général, ce type de questions vise à évaluer comment la personne perçoit et évalue l'environnement, il comprend des questions portant sur :

I.8.1. Echelle de Perception :

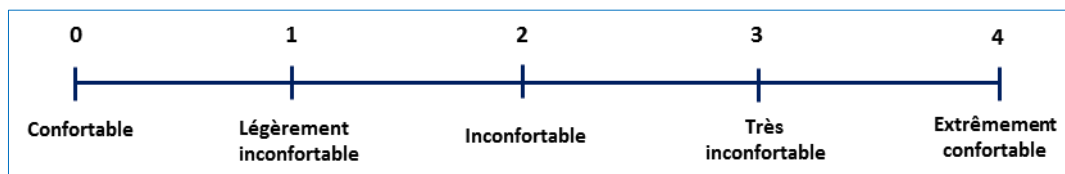
Se référant à la perception du confort (Échelle perceptive) comporte sept à neuf degrés, on attend le sujet fourni une réponse à la question (Boutabba, 2007) :

« Comment vous sentez-vous ? » Ou « Indiquez sur l'échelle suivante comment vous percevez la température maintenant ».



I.8.2. Echelle de L'évaluation affective :

Se réfère à l'évaluation (échelle évaluative), c'est une échelle de cinq niveaux, la question peut être : « trouvez-vous cela ? »

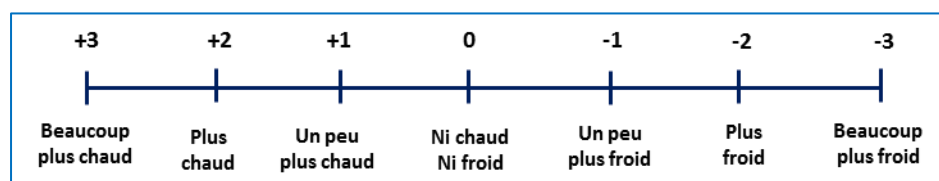


I.8.3. Echelle de Préférence thermique :

Jugement concernant les conditions attendues du sujet plutôt que celui perçu, renvoyé à la préférence (échelle de préférence) d'un sentiment qui exige un jugement par rapport aux réponses précédentes, la question tend à évaluer un gradient, une augmentation ou une diminution par rapport au sentiment évalué ou perçu (Boutabba, 2007).

« Comment préféreriez-vous être maintenant ? ».

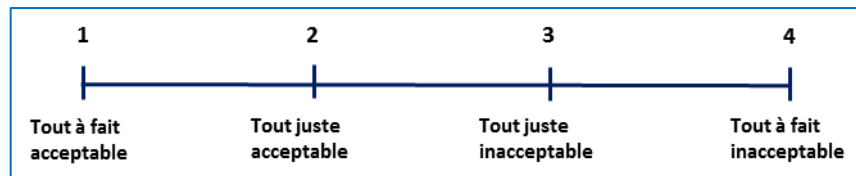
Cette information est utile, à la fois pour guider les décisions de conception et évaluer la différence entre ce qui est perçu et désiré,



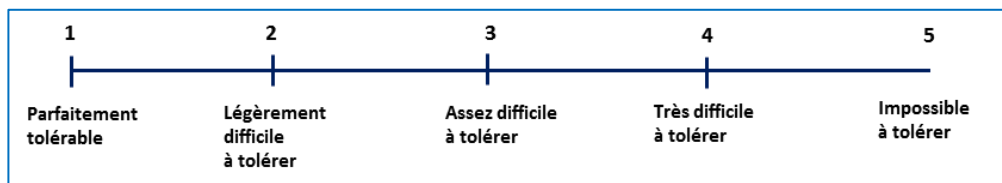
Le deuxième groupe est lié à l'ambiance thermique, les individus ici, fournissent des expressions qui jugent leurs acceptabilités personnelles ainsi leur degré de tolérance relatifs au contexte donné.

I.8.4. Echelle de jugement d'acceptabilité ou de tolérance :

- **Jugement sur l'acceptabilité** : du niveau anticipé, attendu, exigé du sujet par rapport à l'actuel (Boutabba, 2007). Contenant quatre positions, la question utilisée est de type « Comment jugez-vous cet environnement d'un point de vue personnel ? ».



- **Échelle de tolérance personnelle** : avis sur le jugement précédent qui indique la tolérance d'une condition n'est pas acceptable sur une échelle de cinq niveaux, allant de « Parfaitement tolérable » à « intolérable » (Boutabba, 2007), la question peut être Comme celle-ci : « Cet environnement est ? » ou « Comment trouvez-vous cet environnement ? ».



Les jugements sont exprimés en fonction du moment où le questionnaire a été soumis. Dans certains cas, il est possible d'élargir le questionnaire, y compris les questions liées aux sentiments et aux jugements à d'autres moments de la journée, des saisons, de l'année ou, dans le passé ou à l'avenir (Parsons, 2002).

I.9. Les diagrammes bioclimatiques :

En plus les indices thermiques et pour ramener les conditions intérieures à une zone confort, de nombreuses études effectuées par des chercheurs, ont mené à la rédaction des outils graphiques en forme de cartes ou de diagrammes de bien-être.

Le concept du diagramme bioclimatique est basé sur les conditions climatiques extérieures et le confort humain, ces cartes bioclimatiques se présentent, sur un graphique psychrométrique, la combinaison simultanée de la température et de l'humidité à un moment donné. Ainsi, elles sont structurées autour de la zone de confort (Goswami, Yogi, Zhao, & Yuwen, 2009, p. 249).

Suite à l'approche de compatibilité utilisée entre le climat extérieur et le confort d'utilisateur, ces diagrammes peuvent repérer les conditions de confort dans un contexte donné. Cela, permet l'évaluation de la relation climat-confort-construction dans les premières étapes de la conception du bâtiment, ce que précisent également les règles de conception du bâtiment afin d'augmenter les conditions intérieures de confort. En fait, ces cartes graphiques sont des outils de synthèse qui permettent de choisir les grandes options architecturales à partir des exigences du confort thermique et des profils du climat (Kaboré, 2015). En plus, l'analyse des données climatiques à l'aide de diagrammes, de tableaux et de feuilles de calcul, peut trouver les

pourcentages de temps pendant lesquels les stratégies passives peuvent fonctionner efficacement (Attia, 2012, p. 32) pour maintenir un confort satisfaisant. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer le Diagramme bioclimatique d'Olgay (1963), celui de Givoni (1992), les Tables de Mahoney, et la Méthode de Szokolay.

I.9.1. Méthode d'Olgay :

En 1963, les frères Olgay, deux architectes Hongrois, ont développé le premier diagramme bioclimatique, qui est une procédure systématique mise au point pour adapter la conception d'un bâtiment aux exigences humaines et aux conditions climatiques (Elghawab, 2013). Ce diagramme, résume la relation entre les quatre principaux paramètres environnementaux du confort thermique, en plus du rayonnement solaire, et de la teneur en humidité, tout en montrant une zone de confort où les gens se sentent à l'aise.

Sur le diagramme, la température sèche se trouve en ordonné et l'humidité relative en abscisse, la zone confort est au centre, les éléments climatiques qui l'entourent sont représentés par des courbes indiquant la nature des mesures correctives nécessaires pour restaurer le sentiment de confort en tout point en dehors de la zone (Nasrollahi, 2009, pp. 27-28).

La plage de confort est limitée par une limite inférieure de température fixe (70°F/21°C) et par une limite supérieure qui est une courbe de température définie par des valeurs d'humidité relative. Au-dessous de la zone confort (sous-chauffée), le graphe indique l'augmentation de température souhaitée pour obtenir un confort naturel ou la quantité de gain solaire radiant nécessaire. Cependant, pour la limite supérieure de la zone de confort (condition surchauffée), une augmentation de la vitesse de l'air avec l'humidité est requise pour abaisser la température (Baker, 2007, p16). Si les conditions ambiantes sont chaudes et sèches le diagramme indique aussi le refroidissement par évaporation est nécessaire au confort.

L'utilisation de diagramme pour l'analyse des données climatiques et l'évaluation des exigences humaines en confort, est expliquée par B. Givoni, (1978, p324) comme suit :

- Compilation des données climatiques locales, comprenant les températures, le vent, les rayonnements et l'humidité.
- Constitution d'un catalogue des données climatiques à base annuelle, et mise au point d'une série de diagrammes montrant la répartition annuelle des éléments du climat.
- Report des données rassemblées sur la température ambiante et l'humidité sur le diagramme bioclimatique.
- Etablissement des facteurs de conception, tels que les formes du bâtiment, l'orientation, la position, la taille et la protection des ouvertures et des baies vitrées ... pour compenser les inconvénients des conditions climatiques ambiantes dans les périodes froides et chaudes.

B. Givoni (1998), faite une évaluation de cette méthode, repose sur les deux points suivant :

- L'analyse des exigences physiologiques est basée sur le climat extérieur plutôt que les conditions ambiantes intérieures attendues, cela, explique la limite de ses applications.
- La méthode est adaptée pour une application dans les régions chaudes et humides où la ventilation est nécessaire et où il y a une légère différence entre les conditions intérieures et celles de l'extérieur.

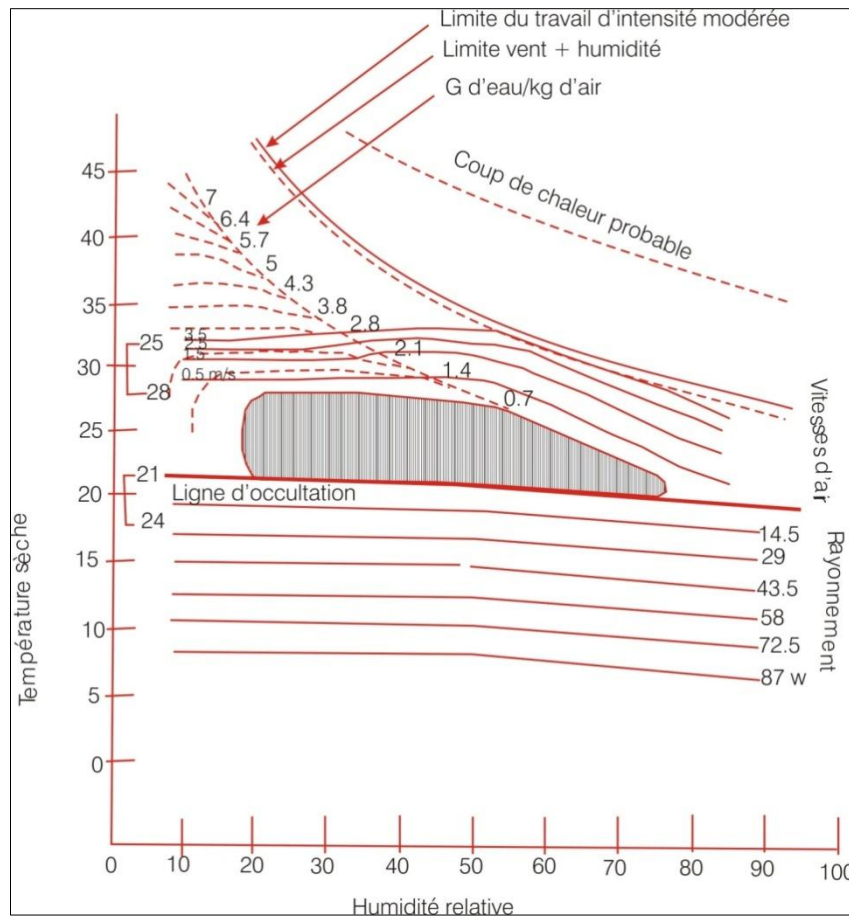


Figure I.11: Diagramme bioclimatique d'Olgay. (Source : Mazouz, 2014)

I.9.2. Méthode de Givoni :

En 1979, B. Givoni établit une méthode, qui évalue les exigences physiologiques du confort, en se basant sur ses études concernant le métabolisme et les diverses voies d'échanges thermiques entre le corps et l'environnement. En effet, il a développé un diagramme bioclimatique basé sur les cartes psychométriques standard. Le diagramme combine différentes amplitudes de température et de pression de vapeur de l'air extérieur dans diverses régions, puis, tracer sur le graphique psychométrique la zone de confort avec ses extensions. Ainsi des limites spécifiques des techniques de refroidissement passives sont définies sur le diagramme, ces techniques comprennent le refroidissement par évaporation, la masse thermique, la ventilation naturelle, le chauffage passif (Sayigh, Marafia, Sala, & Gallo, 1998).

Givoni, basée sur la température intérieure prévue plutôt que sur les conditions extérieures.

Son analyse se déroule comme suit : au début, une analyse du climat : pour repérer les périodes de contrainte thermiques (sur-échauffement en été, sous échauffement en hiver, humidité).

Après, une détermination de la zone de confort sur un diagramme psychométrique courant. Les limites des ambiances confortables sont représentées en deux parties (Kaboré, 2015, p. 29):

- La zone de confort proprement dit, pour des sujets acclimatés au repos ou engagé dans une activité sédentaire. la température à la limite supérieure est de 26 à 28 pour des tensions de vapeur d'eau entre 5 et 20 mercure (Givoni, 1978, p. 328).

- La zone neutre entourée des zones de « conditions supportables » sont des procédures architecturales permettant de réintégrer les conditions de confort (ventilation, forte inertie, refroidissement par évaporation).

La méthode décrite fait appel à l'indice de contrainte thermique pour évaluer les exigences physiologiques du confort, à partir desquelles on détermine les grandes lignes de la conception du bâtiment ; elle comprend aussi une estimation du climat intérieur attendu sous les conditions ambiantes données (Givoni, 1978).

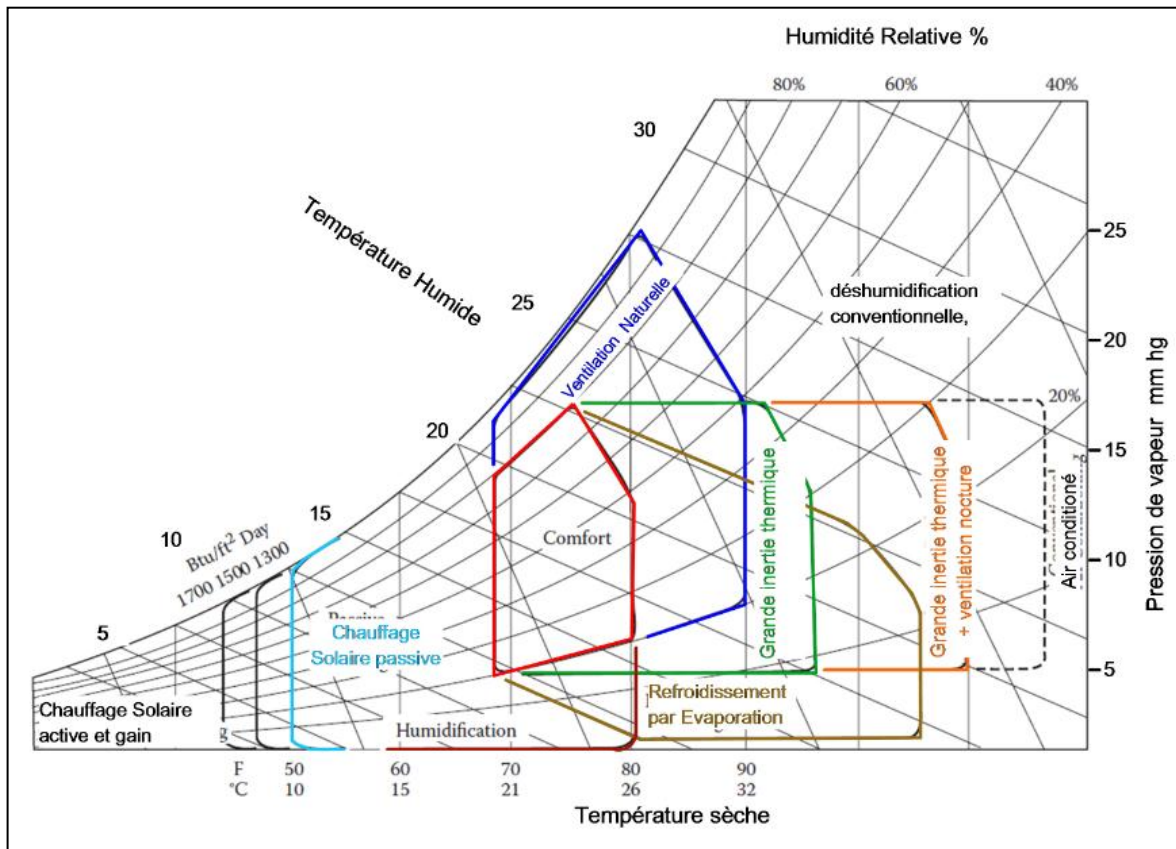


Figure I.12: Diagramme psychométrique de Givoni, zone de confort et les stratégies de performance dans le bâtiment. (Source, La Roche, 2012. réadapté par l'auteur).

En 1998, Givoni a révisé le graphique original, il a établi une distinction entre pays développés et pays en développement. Dans ces graphiques, il a supposé que les limites supérieures de la température et l'humidité acceptées seraient plus élevées pour les personnes vivant dans les pays en développement et acclimatés à des conditions chaudes et humides (La Roche, 2012).

En comparaison d'Olgay qui se base sur deux éléments climatiques (température de l'air et de l'humidité relative), pour définir la zone de confort, Givoni se base sur quatre éléments, que sont l'humidité relative, l'humidité absolue, la température sèche, et la température humide.

En 1981, Watson cité par Sayigh & Marafia (1998, pp11-12) a identifié les limites de l'analyse du graphique bioclimatique de Givoni comme suit :

- Il peut être appliqué principalement à des structures d'échelle résidentielles qui sont exemptes de tout gain de chaleur interne.

- La zone de limite supérieure de la ventilation est basée sur l'hypothèse que la température de rayonnement moyenne et la pression de vapeur intérieures sont presque identiques à celles de l'environnement externe. Ceci nécessite un bâtiment de faible masse et une structure extérieure à haute résistance thermique munie de peinture externe blanche.
- L'efficacité de la masse thermique est basée sur l'hypothèse que toutes les fenêtres sont fermées pendant la journée, un air encore à l'intérieur et la pression de vapeur intérieure est 2 mm plus élevée que l'extérieur.

Cette méthode optimise les exigences physiologiques du confort par des stratégies de refroidissement passif (ventilation, évaporation, réduction des températures intérieures par rapport à l'extérieur) en plus des stratégies de chauffage passif (gains direct).

I.9.3. Les tables de Mahoney:

Dans les années 1970, Carl Mahoney a élaboré une série de tableaux publiés pour la première fois par le Centre des Nations Unies pour le logement, la construction et la planification, en particulier pour les régions chaudes. Il s'agit d'une forme d'outil d'évaluation et de diagnostic basé sur les données climatiques, en dégagant les seuils du confort diurne et nocturne. En effet, ces tableaux, fournissent une série de recommandations de conception préliminaires et détaillées, pour l'obtention du confort hygrothermique dans le bâtiment (Attia, 2012). Ces recommandations sont classées en rubriques suivantes :

- Disposition et espacements entre bâtiments.
- Mouvement de l'air (orientation)
- Propriétés des ouvertures (dimension, positions, protection)
- Propriétés thermiques des murs, planchers et toits
- Utilisation de l'espace extérieur (sommeil).
- Protection contre le vent et la pluie.

Les tables ont été les premières à envisager une approche adaptative préliminaire de l'évaluation du confort thermique en termes de température annuelle moyenne et d'humidité relative moyenne mensuelle.

Les tables de Mahoney peuvent être réparties en deux ensembles: les tables diagnostic et les tables recommandations (Mazouz, 2014).

Tables diagnostic :

1. Noter sur une table les températures, l'humidité relative, la pluie et la direction du vent dominant et secondaire. Pour chaque mois.
2. Déterminer selon les données des deux tableaux précédents, la température moyenne annuelle, l'écart moyen annuel de température et le groupe d'humidité pour chaque mois.
3. A partir ces indicateurs, compléter à diagnostiquer le stress thermique diurne et nocturne rencontré pour chaque mois.
4. Transférer les résultats obtenus, au tableau des indicateurs de climat humide ou aride pour chaque mois pour définir les besoins nécessaires. Ces indicateurs de climat sont répartis comme ce suit :
 - Les indicateurs d'humidité :

H1 : le mouvement d'air est essentiel (climat chaud et humide).

H2 : la ventilation est souhaitée (climat chaud et sec).

H3 : la protection de la pluie est nécessaire (climat tropical et tempéré).

➤ Les indicateurs d'aridité :

A1 : le besoin de l'inertie thermique. (Climat à grand écart diurne de température).

A2 : la désirabilité de l'espace extérieure de sommeil. (Climat chaud en été).

A3 : la protection du froid (climat froid).

Tables recommandations :

5. En fonction des contraintes thermiques diagnostiquées, apporter les recommandations architecturales à respecter pour les six sujets déjà cités en-dessus.

La méthode de Mahoney, est un outil simple qui consiste à réunir les données climatiques d'un lieu, à partir d'une série des tableaux. Un diagnostic de l'état climatique à partir de la température et l'humidité, peut définir les limites de confort et fournir des recommandations malgré des nouveaux développements, cette méthode reste encore fiable pour ramener les conditions intérieures proches à la zone de confort.

Conclusion

La revue de la littérature présentée dans ce chapitre, couvre un concept lié au sujet de cette recherche, c'est le confort thermique dans le bâtiment, et le bien être humain.

Au début, le champ du confort thermique montre d'un côté, le rôle des paramètres liés à l'individu qui sont l'activité et le l'habillement, comme facteurs important déterminant le bilan thermique humain. Ces paramètres interagissent avec autres paramètres environnementaux, qui sont la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température radiante. Les deux facteurs qui sont liés à l'individu et à l'environnement, affectent simultanément le confort et l'état thermique de l'utilisateur à l'intérieur du bâtiment.

Ensuite, deux théories principales du confort thermique ont été exposées, qui sont l'équilibre thermique ou l'approche analytique et l'approche adaptative. Le modèle analytique (équilibre thermique) indique, que le confort sur tous les sujets peut être expliqué par une approche physiologique se basant sur le calcul du bilan thermique du corps humain pour prédire le niveau de confort. Ce modèle de confort est mieux illustré par les indices PMV / PPD et le SET, il établit une contrainte thermique basée sur le transfert de chaleur en régime permanent entre le corps et l'environnement et attribue un vote de confort à cette quantité de contrainte. Ce modèle a manqué de l'inclusion des aspects d'adaptation de l'individu, dans son propre environnement.

En revanche, l'approche adaptative qui est une approche comportementale suppose que les gens vont répondre aux variations de l'environnement en s'adaptant à elles par des actions conscientes liées à leur corps ou à leur environnement. Ce modèle, basé sur des recherches réalisées sur terrain, avec des sujets engagés dans des activités quotidiennes typiques, dans leur environnement. Plutôt que, les études réalisées dans des chambres expérimentales dans le

modèle analytique. Les deux approches sont complémentaires dans l'étude de confort thermique,

A ceux-ci, on ajoute les diagrammes bioclimatiques que sont des outils graphiques d'évaluation, structurés autour d'une zone neutre (confort) et combinant les facteurs environnementaux sur une carte psychométrique, ils sont aussi, des outils d'aide à la conception, qui permettent de suggérer des solutions architecturales et techniques nécessaires, pour remédier les contraintes du climat. Autre méthode, celle de tables de Mahoney qui propose une relation entre les données climatiques et les stratégies de conception bioclimatique recommandées pour atteindre le confort thermique dans un site donné.

Dans notre recherche on va adopter les deux approches de confort thermique, pour bien caractériser l'état thermique des occupants, à l'intérieur de leurs espaces. En plus, on va, appuie préalablement, sur les méthodes graphiques pour évaluer les périodes de confort et d'inconfort thermique de notre contexte étude, ainsi les procédures architecturales recommandées pour ajuster la zone de confort, et les compare avec la conception des bâtiments à étudier surtout en ce qui concerne l'ouverture de l'enveloppe sur le climat extérieur.

CHAPITRE II :
LA BAIE VITREE ET L'ARCHITECTURE DE
VERRE.

(Évolution historique, notions et paramètres
thermiques).

Introduction

Les baies de fenêtres sont l'une des composantes de l'enveloppe du bâtiment les plus importantes, elles offrent à l'espace intérieur de l'édifice, de nombreuses caractéristiques vitales pour les occupants. Leur conception à travers l'histoire de l'architecture, a connu de multiples évolutions en ce qui concerne, la forme, la dimension et le matériau utilisé pour le cadre et pour le remplissage. D'un côté, elles permettent aux occupants des locaux, le contact avec l'environnement extérieur, elles éclairent naturellement l'espace intérieur, apporte l'air neuf et la chaleur en l'hiver, à l'intérieur du bâtiment, par conséquent, elles améliorent le bien-être de l'occupant. En revanche, elles doivent d'un autre côté, assurer des fonctions complémentaires, protéger de la chaleur en été et du froid en hiver, protéger de la lumière excessive, isoler au bruit et gérer les gains de chaleur pendant les saisons.

Cependant, avec le développement des techniques constructives et l'introduction des nouveaux matériaux comme le verre et l'acier, le vocabulaire systématique de l'ouverture utilisé dans le bâtiment a changé. En effet, l'ouverture a connu un nouvel usage qui s'agit des façades fortement vitrées et des fenêtres vitrées à surfaces plus grandes. Cela, entraîne aux problèmes de surchauffe et l'utilisation gourmande de l'énergie, ce qui amène à la nécessité de revoir à la conception des baies sur la façade du bâtiment.

Dans ce contexte, au moment de la conception architecturale, plusieurs paramètres doivent être pris en considération pour l'utilisation et le positionnement des baies sur l'enveloppe d'un bâtiment. D'un point de vue thermique, ces paramètres sont conditionnés par les effets positifs et négatifs des surfaces vitrées sur le confort thermique des usagers dans l'espace intérieur. Ces éléments sont : le climat où s'inscrit l'édifice, la surface vitrée, le type de vitrage, l'orientation de l'ouverture et le type de protections solaire.

Dans ce chapitre, nous essayerons au premier lieu d'éclairer la notion d'ouverture et son évolution dans l'histoire de l'architecture ainsi ses rapports au confort dans le bâtiment. Nous chercherons à partir de cette étape de comprendre les principales stations qui guident à son évolution dans les œuvres architecturales.

Ensuite, une description des principales composantes structurales de la baie, à savoir le rôle et l'influence de chaque constituant sur les performances thermiques et le confort surtout, dans le bâtiment.

Au dernier lieu, on met la lumière sur le matériau verre, comme composant principal de la baie vitrée, puisque c'est la peau qui transmet un grand pourcentage de l'énergie solaire à l'intérieur de bâtiment et donc influe sur le confort thermique. On présente notamment ses caractéristiques thermiques, lumineuses et physiques.

II.1. Définition et composition :

Selon la définition du dictionnaire, « le verre est un matériau minéral, solide transparent et isotrope obtenu par fusion d'un mélange d'éléments vitrifiant (silice), fondants (soude) et stabilisants (chaux) » (Choay et Merlin 1998, 702). En fonction des quantités de ses constituants, le verre peut être obtenu en différents états : transparent, translucide ou brillant. De même, l'ajout de certains additifs aux ses constituants, peut donner de types de verres avec des propriétés et caractéristiques variables.

Le verre est un matériau homogène et un liquide sur-refroidi, obtenu suivant un procédé de refroidissement lent. Cette méthode de production, permet de maintenir le mélange (à l'état de viscosité) dans un état amorphe, ainsi les molécules s'organisent dans une structure non cristalline (sont disposées de manière désordonnées). Et cette raison, peut expliquer l'état de transparence du verre, par laquelle la lumière peut pénétrer sans aucune diffusion (Kottas 2013).

Les pourcentages de chaque constituant sont de l'ordre suivant : le sable (69-77%), sodium (12-16%), calcium (5-12%), avec l'ajout de petit pourcentage d'autres matériaux, servant à améliorer ses comportements mécaniques, sa résistance aux effets du climat, et à lui affecter ses propriétés de couleur (Simon, et al. 2001). Dans les constructions, le verre utilisé communément pour l'exécution de vitrage appelé « sicilien alcaline calcique » ou « silico-sodo-calcique ».

II.1. Type de verre (produits de base) :

Les vitrages sont le mode d'utilisation le plus ancien, des progrès considérables ont été faits dans leur fabrication grâce à la technique du float-glass qui consiste à faire flotter la feuille de verre encore mou sur un bain d'étain fondu. Plusieurs types de verre peuvent être fabriqués, les plus utilisés sont :

II.1.1. Verre clair simple (flotté) :

Il s'agit d'un procédé de fabrication des plaques de verre claires ou colorées, par une méthode dite de flottage (float glass). Ce procédé consiste à couler le verre après cuisson (1600°) sur un lit d'étain en fusion dont la surface est tout à fait plane. En conséquence, cette planéité donne au verre des surfaces parfaitement planes (Trachte 2012). Ce type de verre, est le produit de base le plus fréquemment utilisé dans la confection des vitrages. Il est utilisé, dans le bâtiment pour réaliser : fenêtres, Étagères, Portes et cloisons, Vitrites, Solariums, Serre, Atriums, Garde-corps. Son épaisseur allant de 2 à 20 mm.

II.1.2. Le verre feuilleté (laminé) :

Le principe est de coller deux ou plusieurs feuilles de verre à l'aide des intercalants en plastiques (PVB) ou une couche de résine. Cet intercalaire a pour objectif est d'unifier les plaques de verre et d'absorber le choc en cas de bris dus aux impacts en laissant le verre collé à la feuille de résine. Il est utilisé comme verre de sécurité ou comme verre décoratif.

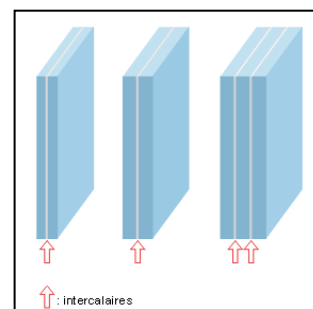


Figure II 1 : Schémas de principe de verre feuilleté (Source : energieplus-lesite.be/2016, en ligne)

II.1.3. Le verre trempé :

Est un verre à haute résistance, obtenu grâce à un traitement thermique ou chimique. Le procédé thermique vise à chauffer le verre sous une température uniforme d'environ 650°C puis le refroidir rapidement et d'un coup sec. Cela laisse les surfaces extérieures refroidissent et rigidifient brusquement et plus vite que le cœur intérieur, en portant des contraintes de compression sur toute la surface et aux bords de verre. Le deuxième procédé est le traitement chimique, qui s'agit de remplacer une partie des ions de sodium du verre par de ions de potassium plus volumineux, donnent par suite une résistance accrue au verre (Garg, Use of Glass in building 2007).

Il est utilisé pour des applications qui nécessitent une grande résistance, où le verre recuit ne peut utiliser vu son incapacité de résistance aux forces de vents, de neige et des charges thermiques. Il est exécuté aussi, comme vitrage de sécurité pour les portes d'entrée, les rampes, les cloisons ou les fenêtres anti-incendie.

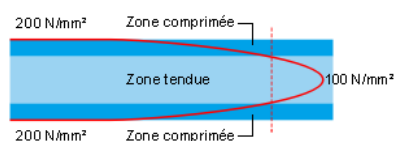


Figure II 2 : Les contraintes de compression dans le verre trempé.
(Source : energieplus-lesite.be/ 2016, en ligne)

II.1.4. Verre armé :

C'est un type de verre dans lequel il est inclut dans sa composition des treillis métalliques, qui sont pour but de maintenir les petits morceaux de verre en cohérence en cas de casse. Ces armatures ne jouent aucun rôle en ci qui concernent la résistance mécanique, par contre, elles déforment ses contraintes internes ce qui le laisser moins résistants par rapport à un verre non armé (Simon, et al. 2001). Il est employé habituellement sur des petites surfaces, en qualité de verre résistant au feu.

A cause de manque de souplesse, le verre est fragile, quand il soumit à des forces de compressions ou de flexion il ne se déforme pas il se brise. La norme EN 12600, décrit les différents comportements de verre lorsqu'il reçoit un choc, comme se suit :

- **Verre recuit** (flotté) : ce type se brise en de nombreuses sections, que sont plus moins grands, elles se détachent en formant des grands morceaux coupants et dangereux.
- **Verre feuilleté** : il se brise en de nombreux morceaux plus ou moins grands qui restent en place et ne se détachent pas, il reste collé à la feuille de PVB.
- **Verre trempé** : le verre se fragmente en de multitude petits morceaux non tranchants, le nombre de morceaux qui va y avoir au niveau de la casse est contrôlé à priori selon le règlement.

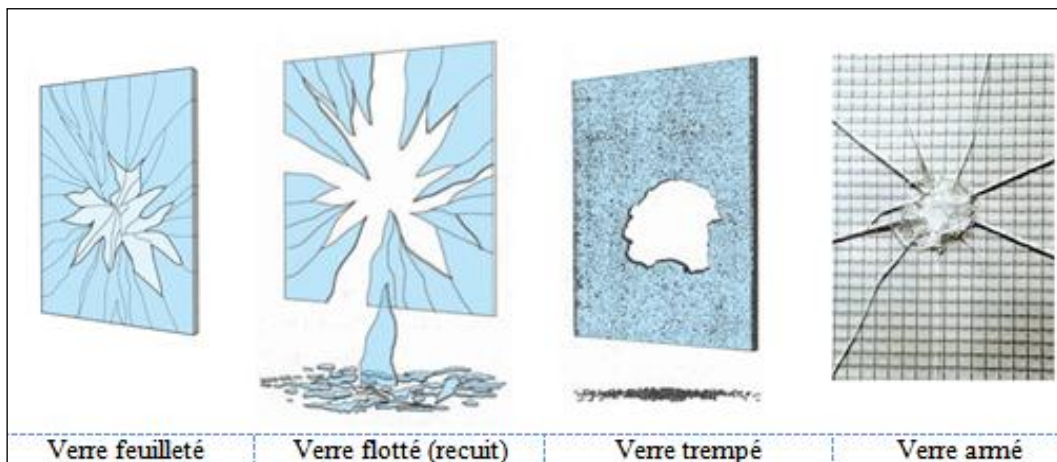


Figure II.3: le comportement des vitrages en cas de bris.
(Source : energieplus-lesite.be/ 2016, en ligne).

II.2. Vitrages isolants :

Comme tous les autres matériaux, l'isolation thermique du verre repose sur sa résistance thermique. Puisque le verre conduit bien la chaleur, des progrès ont été également accomplis pour améliorer sa résistance thermique. Nous citons :

II.2.1. Unité de double vitrage :

Il s'agit des unités de verre, dans lesquels il est interposé entre deux ou plusieurs plaques de verre, de chambre d'air, d'une épaisseur d'entre 6 à 20 mm. Cette chambre d'air a pour objectif est de réduire la conduction de la chaleur, ainsi les performances thermiques, elle agit comme un espace isolant. Ce matelas thermique, peut être rempli par de gels, d'air déshydraté ou de gaz rare comme l'argon ou le xénon, dont le facteur de conduction est faible. Avec les dernières technologies, la chambre peut être remplie avec des matières translucides isolant, ou des matériaux qui modifient les qualités physiques de transmission (Kottas 2013), comme les films à basse émissivité ou réfléchifs.

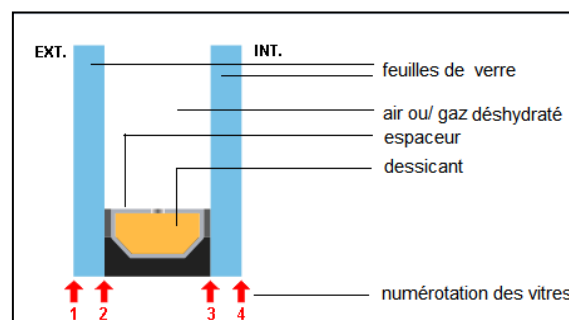


Figure II. 4: Schéma d'un vitrage isolant (double vitrage).
(Source : energieplus-lesite.be 2016 [en ligne])

II.2.2. Vitrage à basse émissivité (haut rendement) :

Tout d'abord, disposer entre deux vitre un air déshydraté ou un gaz rare, en plus recouvrir la vitre de côté intérieur ou de côté extérieure (dépend de but de limiter la perte ou les gains) par

une fine pellicule d'argent. La couche est déposée sous vide (en position 2 ou 3, **Erreur ! Référence non valide pour un signet.**), on obtient ainsi une unité de vitrage à basse **émissivité**¹. Lorsqu'elle est posée en position 3 sur la vitre de côté intérieur, elle laisse passer la lumière et les infrarouges qui viennent de l'extérieur et empêche la chaleur de grande longueur d'onde (chaleur des objets et murs de la pièce) de s'échapper de l'intérieur vers l'extérieur (facteur solaire élevé).

Quand la couche est placée sur le verre en contact avec l'extérieur (en position 2), elle va laisser passer la lumière visible à l'intérieur, en revanche, elle arrête une grande partie des infrarouges (chaleur) (facteur solaire faible).

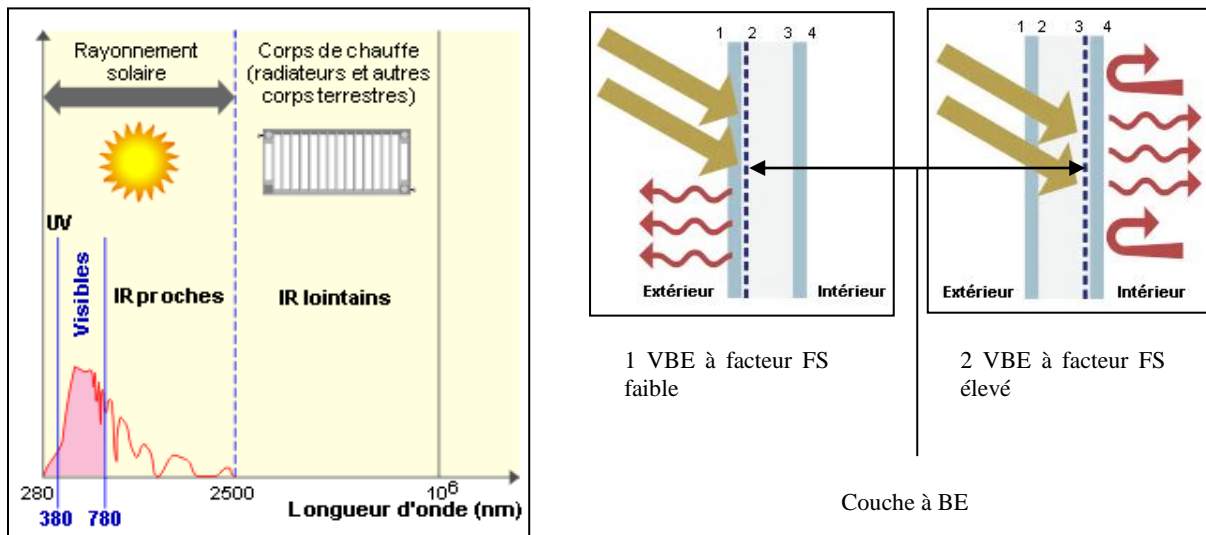


Figure II.5: à gauche : plage d'ondes de rayonnement solaire et rayonnement des corps terrestres, à droite : principe de VBE à FS faible et FS élevé. (Source : energieplus-lesite.be/ 2016, en ligne).

II.2.3. Vitres de contrôle solaire :

Sont des types de verre utilisés pour réduire l'apport d'énergie solaire transmis, à travers cette vitre, il existe :

II.2.3.1. Verre absorbant :

C'est un type de verre dont le facteur solaire « g » est faible, obtenu par l'ajout d'oxydes métalliques à sa composition, ce que donne un verre teinté (bronze, gris, vert, rose, bleu, ...). Ce procédé de traitement, permet à ce verre d'absorber une importante quantité d'énergie solaire et de ne pas la laisser pénétrer directement à l'espace l'intérieur. Il restitue cette chaleur absorbée progressivement. En raison de son réchauffement à quantité plus élevée, ce type de verre subi le casse thermique (CSTC-Bruxelles 1999).

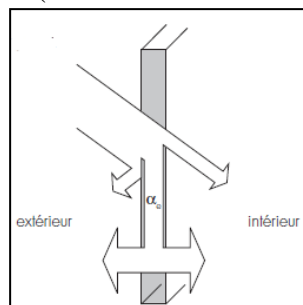


Figure II 6 : facteur solaire de verre absorbant (Source: CSTC-Bruxelles, 1999)

¹ L'émissivité est définie comme le rapport entre l'énergie émise par une surface donnée à une température donnée et celle d'un émetteur parfait (un corps noir dont l'émissivité est égale à 1), à la même température. Sa valeur comprise entre 0 et 1

II.2.3.2. Verre réfléchissant :

Ce type de verre est caractérisé par sa réflexion au rayonnement solaire, en employant sur les surfaces des couches réfléchissantes. Il est utilisé pour objectif, est de limiter l'éblouissement et les surchauffes. Ces couches réfléchissantes peuvent être (CSTC-Bruxelles 1999):

- Placées sur la face intérieure ou extérieure d'un simple ou double vitrage, réalisée en pyrolytiques à base d'oxydes métalliques.
- En forme de couches sous vide installées à l'intérieur d'un double vitrage.

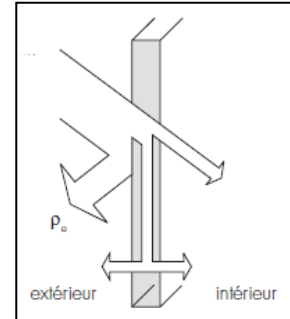


Figure II 7 : Facteur solaire de verre réfléchissant
(Source : CSTC-Bruxelles, 1999)

II.3. Autres types :

II.3.1. Verre de comportement optique modifié :

Ce type peut se réaliser en forme de : verre **dichroïque** qui décompose les rayons de la lumière en donnant des effets singuliers, utilisé dans la décoration, verre **traité de miroir froid** qui permet la réflexion de la lumière visible et laisser passer les infrarouges, ou verre **émaillé** utilisé dans l'imagerie corporelle (Kottas 2013).

II.3.2. Verre modelé :

Est ne forme des blocs de verre massives, obtenus par le procédé de pressage de la matière fondue de verre en utilisant de moules. Deux unités ou plus de blocs de verre peuvent être assemblé en une seule pièce creuse, à l'aide de soudure entre ces unités. Ce type de brique de verre est utilisé pour le remplissage de dalles structurales, murs, alcôves ou coupole afin d'amener la lumière naturelle à l'intérieur (Kottas 2013).

II.3.3. Le verre imprimé ou coulé :

Il s'agit de verre dont la ou les deux faces sont texturés en dessins ou reliefs, il peut être coloré ou non, obtenu à l'aide de pressage des feuilles de verre entre deux rouleaux texturés pendant que le verre est en phase de laminage (CSTC-Bruxelles 1999). Placer habituellement sur les fenêtres de cuisine et salles de bain en offrant une obscurité visuelle, sans perdre la transparence et la luminosité, il diffuse la lumière et crée une ambiance intime dans l'espace.



Figure II.8: exemple des verres imprimés.
(Source : CSTC-Bruxelles, 1999)

II.3.4. Verre intelligent (actif) :

Il s'agit d'un type dont les propriétés physiques peuvent changés suivant la lumière et la transparence désirées. Il peut contrôler la transmission lumineuse et l'intimité grâce à la tension électrique. Il existe trois fromes de verre actif : photochromique (verre sensible à la lumière), thermochromatique (verre thermosensible) et électrochromatique (verre sensible à la lumière et la transparence, contrôlé par un interrupteur électrique).

II.4. Les propriétés thermiques des vitrages :

La connaissance fine des propriétés des vitrages est une étape primordiale dans la conception, puisqu'ils vont constituer non seulement une partie de la façade du bâtiment, mais encore, une interface agissante entre le climat extérieur et les caractéristiques thermiques intérieurs.

II.4.1. Spectre solaire :

Le spectre solaire est l'ensemble du rayonnement solaire s'émise par le soleil et qui atteinne la terre à différentes longueurs d'onde. Ces rayons solaires se propagent sous forme d'une radiation électromagnétique, et sont distingués par leur longueur d'onde, ils se divisent en trois parties (CSTC-Bruxelles 1999) :

- **Les rayons Ultraviolets (UV)**, longueurs d'ondes comprises de 280 à 400 nm, ces rayons sont invisibles, ne causent pas de surchauffes mais provoquent des effets néfastes sur les cellules.
- **Les rayons visibles (rayonnement lumineux)**, longueurs d'ondes comprises de 400 à 800 nm, sont les rayons visibles par l'œil humain, permettant la distinction des objets, des matières et des couleurs.
- **Les rayons infrarouges(IR) (rayonnement thermique)** : les longueurs d'ondes comprises entre 800 et 2500nm, ces rayons sont invisibles, chauffent les matières solides et fluides qu'il les rencontre.

Un pourcentage de 47% de ces rayons solaires compose la partie du domaine visible, tandis que 46% de ce rayonnement constitue la section du domaine thermique, alors les 7% restant contient le domaine des rayons Ultraviolets (Schittich, et al. 2012).

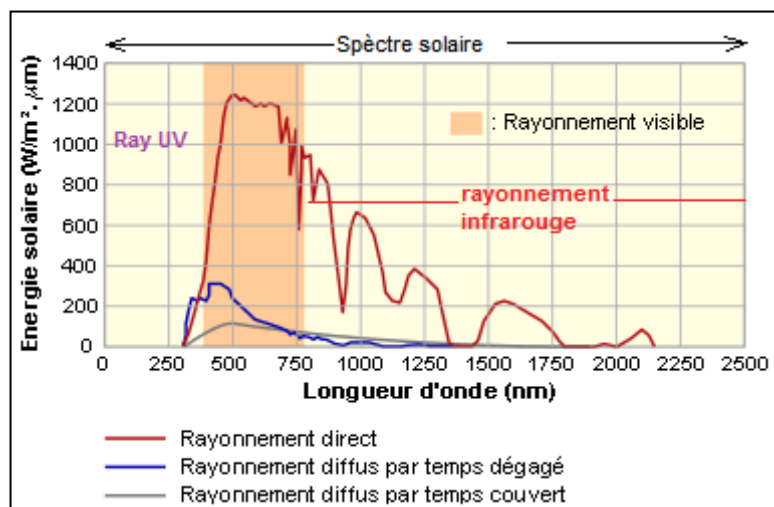


Figure II.9: les domaines composant le spectre solaire selon la longueur d'ondes (Source : energieplus-lesite.be [en ligne], 2017)

II.4.2. Transmission lumineuse (facteur lumineux TL) :

Le facteur de transmission lumineuse exprime le pourcentage du rayonnement lumineux visible (longueur d'onde 380 à 780nm), que le verre le laisser passer directement à l'intérieur. Il constitue avec la taille des fenêtres vitrées les facteurs déterminants pour l'éclairage de l'espace intérieur (Schittich, et al. 2012). La détermination de la valeur du facteur de perméabilité lumineuse prend en compte la sensibilité spectrale de l'œil humain pour faire l'activité en état confortable sans qu'il provoque un éblouissement.

Type de vitrage		Transmission lumineuse (%)
Simple	clair	90
Double	clair	81
	clair + basse-émissivité	78
	clair + absorbant	36 à 65
	clair + réfléchissant	7 à 66
Triple	clair	74

Tableau II.1: pourcentages de transmission lumineuse de différents types de vitrages. (Source : Reiter et De Herde, 2004)

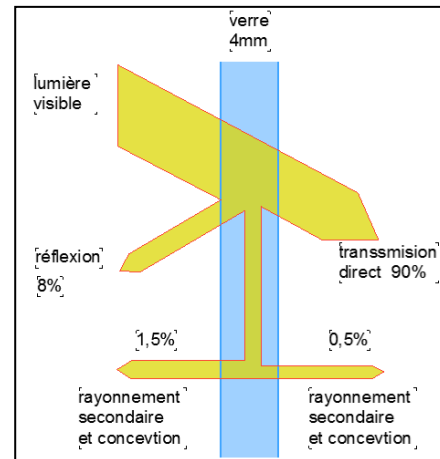


Figure II.10: facteur de transmission lumineuse dans le cas d'un vitrage clair. (Source, Schittich, et al. 2012)

En plus la taille de fenêtre, les caractéristiques de matériaux de transmission (verre) jouent un rôle qui détermine la quantité de la lumière. Ces aspects déterminants de verre sont : le type de vitre (clair, absorbant, réfléchissant...), l'épaisseur, la propreté, la rugosité et le nombre de couches utilisés (simple, double, triple, ...). En général, les verres clairs ont une grande capacité de transmission lumineuse (Reiter et DE Herde 2004).

II.4.3. Transmission énergétique (Facteurs solaire g) :

Lorsque le rayonnement d'énergie solaire (infrarouge) incidente sur le verre est divisé en trois parties, une portion transmise directement, une tranche réfléchiée (réflexion), et une quantité absorbée par le verre. Cette dernière partie (absorbé) est restitué à l'environnement intérieur et extérieur par rayonnement et convection.

Le pourcentage total d'énergie solaire de la partie **transmis** directement à l'intérieur et la partie absorbée puis **réémis** vers l'intérieur est constitué le **facteur solaire** « g » à travers le vitrage (Figure II.11). Ce facteur « g » représente le pourcentage total du rayonnement thermique (longueur d'onde 800 à 2500nm), que le verre la répartie à l'intérieur du local. Plus la valeur du facteur « g » est grande plus la quantité de chaleur pénétrée à l'intérieur du bâtiment est **importante** (Reiter et DE Herde 2004).

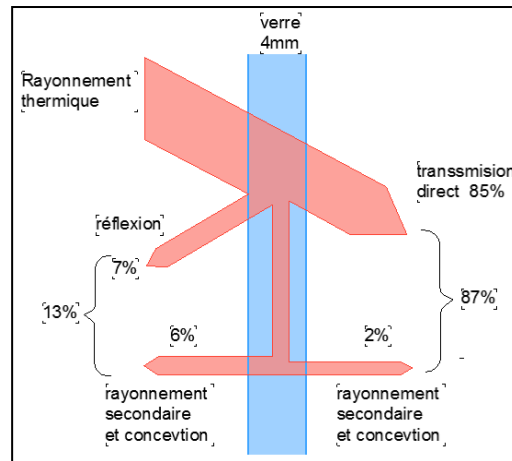


Figure II.11: le facteur solaire « g » dans le cas d'un vitré flotté ép. :4cm.
(Source, Schittich, et al. 2012).

II.4.4. Le coefficient de transmission thermique (U) :

Toutes les parois opaques ou transparentes sont le siège de transmission thermique, cette transmission est définie par le coefficient U. Ce coefficient est défini comme « le flux thermique qui traverse un élément de construction de 1m² entre l'air extérieur et l'air intérieur » (Schittich, et al. 2012, 123).

Le **coefficient de transmission thermique U** d'une paroi vitrée est la quantité de chaleur qui traverse cette paroi vitrée par unité de surface de 1m² et pour une différence de température de 1k entre l'air intérieur et l'air extérieur. Sa valeur s'exprime en (w/m².k) , plus cette valeur est basse, plus cette paroi vitrée est meilleure en isolation thermique (FS faible) (voir Tableau II.2).

Le coefficient de transmission thermique, c'est l'inverse la résistance :

$$U = \frac{1}{R} \qquad R = \frac{e}{\lambda}$$

R : résistance thermique

e : épaisseur

λ : conductivité thermique

Dans le cas d'une unité à multiple vitrage multiple, la valeur U est calculée, en faisant inclus les résistances des feuilles de verres, en plus la résistance thermique des différentes couches d'air ou gaz séparant les plaques de verre (Simon, et al. 2001). Les matériaux transparents sont des points faibles de l'isolation thermique, en effet, leur coefficient U est élevé. Pour le vitrage, l'amélioration de son coefficient U, peut se faire grâce des solutions suivante (Reiter et DE Herde 2004) :

- Traiter les faces de verre en recouvrant une des surfaces par une couche fine à faible émissivité (film en argent).
- Augmenter le nombre des plaques de verre utilisé et aussi les espaces intercalaires entre ces vitres.
- Au lieu de séparer les vitres par l'air, en pulsant dans la lame, un gaz rare (argon ou krypton) qui est un mauvais conducteur de chaleur.

Type de vitrage		Coefficient U (W/m ² K)
Simple	clair	5,8
	Double	2,8
Double	clair + basse- émissivité	1,6
	Clair + basse- émissivité +couche de gaz rare entre les vitres	1,1 à 1,3
	Triple	1,9

Type de vitrage		Facteur solaire (%)
Simple	clair	86
	Double	76
Double	clair + basse- émissivité	65
	clair + absorbant	46 à 67
	clair + réfléchissant	10 à 66
	Triple	68

Tableau II.2: les coefficients de conduction thermique et facteur solaire de différents types de vitrages. (Source : Reiter et De Herde, 2004)

II.4.5. Coefficient de transmission thermique U_0 selon la norme EN 673 :

Selon la norme EN 673 la valeur U_0 est donnée selon la formule suivante :

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i}$$

h_e : coefficient de transfert thermique **extérieur**, dépend de l'émissivité de la surface extérieure du vitre et de la vitesse de vent.

$$h_e = h_r + h_c$$

h_r : coefficient de rayonnement.

h_c : coefficient de la part convectif ($h_c = 2.8 + 3v$). v : vitesse de l'air

h_i : coefficient de transfert thermique **intérieur** dépend item de l'émissivité intérieure et de la vitesse de l'air.

h_t : coefficient de transfert thermique **global**, dépend de la résistance thermique du vitrage où de la résistance de vitres et des espace intercalaires (cas d'un double ou triple vitrage).

II.4.6. L'effet de serre généré par le vitrage :

Quand le rayonnement solaire frappe une paroi vitrée pendant une période de temps, une quantité de rayonnement en forme d'**énergie solaire** de **courte** longueur d'onde (800-2500 nm) passe à travers ce vitrage à l'intérieur du bâtiment. Ainsi, cette énergie transmise, chauffe progressivement les objets et les parois du local. Ensuite, Comme réaction à leurs augmentations de températures, ces surfaces et corps émettent un rayonnement thermique à **grande** longueur d'onde (supérieure à 2500 nm). Ce rayonnement **infrarouge**, ne peut retraverser le vitrage, en raison que ce dernier est opaque au ce type de rayonnement **provenant des objets** et matières. Alors, il est **piégé** à l'intérieur du local, par conséquence, il contribue au **réchauffement** croissant de **l'air intérieur** du bâtiment (Courgey et Oliva 2006), on appelle ce phénomène provient de vitrage : **l'effet de serre**. Les locaux fortement vitrés, peuvent facilement subis l'effet de serre, même si la température extérieure est basse.

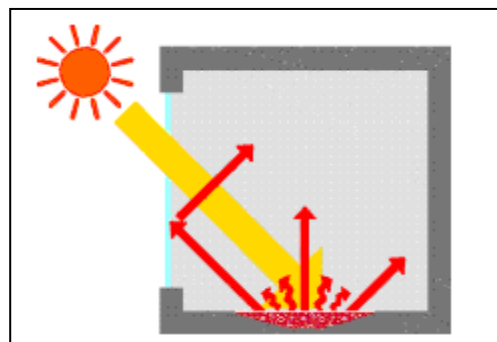


Figure II.12: réchauffement thermique d'un local sous effet de serre. (Source : energieplus-lesite.be site [en ligne], 2017).

II.4.7. Angle d'incidence du rayonnement sur une paroi vitrée :

En physique, l'angle d'incidence c'est l'angle qui fait le rayon incident par rapport à la **normale**² au plan considéré (Figure II.13). Cet angle est un facteur déterminant de l'intensité du rayonnement intercepté par la paroi. En effet, lorsque les rayons sont perpendiculaires à la paroi (angle d'incidence =0), la **puissance** de l'énergie reçu sur la surface est plus grande, tandis qu'ils sont plus inclinés, le **pouvoir** de gains d'énergie a diminué ((UR "Architecture et climat" 2017, [en ligne]).

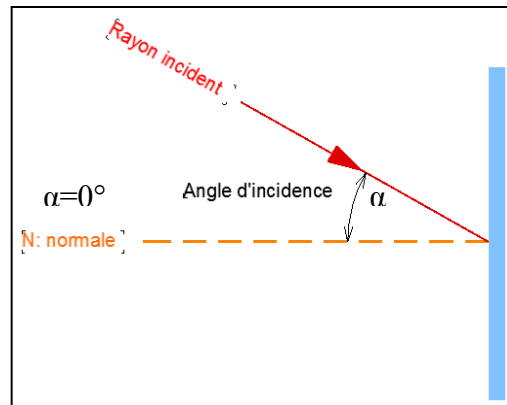


Figure II.13: schéma illustrant l'angle d'incidence
(Source : Auteur, 2016.)

Le diagramme (Figure II.14) en ci-dessous, montre la variation du facteur de transmission en fonction de l'angle d'incidence pour quatre type de vitrage, on remarque une diminution importante du **facteur solaire**, à partir des angles d'incidences supérieur de 60°, malgré le type du vitrage utilisé (simple, double, triple, double à basse émissivité). Alors, en plus les caractéristiques thermiques, qui sont liés aux propriétés de matériau verre elle-même, et qui on les a vu déjà juste en dessous (coefficient U, l'épaisseur et le nombre de couches utilisés), le taux de transmission de l'énergie totale dépend aussi de l'angle d'incidence des rayons sur le plan vitré. Cet angle, est le résultat des facteurs suivant (Schittich, et al. 2012) :

- Le site (latitude et longitude).
- Le moment de l'année (hauteur et azimut du soleil).
- L'orientation et l'inclinaison du vitrage.

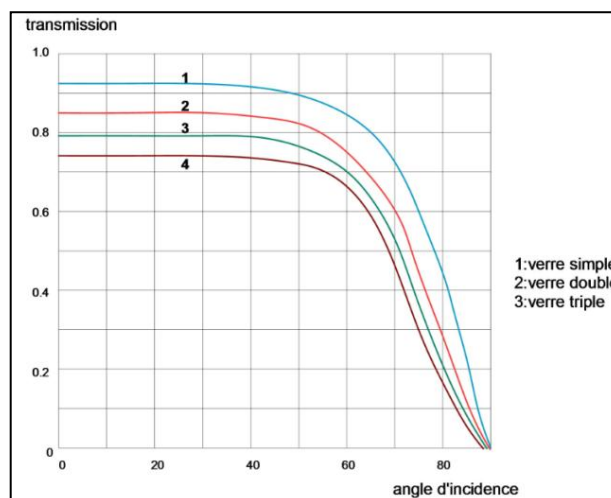


Figure II.14 :facteur de transmission à travers le vitrage selon l'angle d'incidence. (Source : Schittich, et al. 2012)

² Une droite fictive ou un rayon perpendiculaire (orthogonal) à un plan dans l'espace.

Sur des vitrages orientés en **Sud**, les radiations solaires sont beaucoup importantes, peuvent entraîner au risque de surchauffe. Sur les vitres orientées à l'**Est** et à l'**Ouest**, La proportion diffusée du rayonnement solaire atteint son maximum en été, puisque le soleil est en haut, ce qui résulte des gains solaires plus importants (Schittich, et al. 2012).

II.5. Le verre en architecture :

L'histoire du verre dans l'architecture remonte à plus d'un millénaire. A l'époque médiévale il a utilisé comme un élément décoratif et coloré dans des cathédrales européennes.

Le XIX siècle donna naissance à un certain héritage de bâtiment construit en grande partie en verre. Les plus connus sont les galeries urbaines et les grandes serres. La majorité édifiée durant la deuxième partie du siècle précédent. C'est le cas de :

- The Palm House dans Bicton Park Gardens à Londres (1825-1830)
- Le Palais de Cristal (1852) en Angleterre et le Palais de verre de Munich 1834) en Allemagne
- La gare de tramways de St Pancras de Londres (1865-1867),
- Le Palais de Machines de Paris (1889) et la Galerie Vittorio Emanuele de Milan (1865-1867).

« La grande nouveauté que présentent tous ces bâtiments est que pour la première fois le verre utilisé non comme petite surface percée dans la paroi, si non pour qu'il occupe la totalité du mur et de la toiture » (Kottas 2013)..



Figure II.15: Palm house à Bicton Park, Londres 1820, (source Elkadi, 2006)

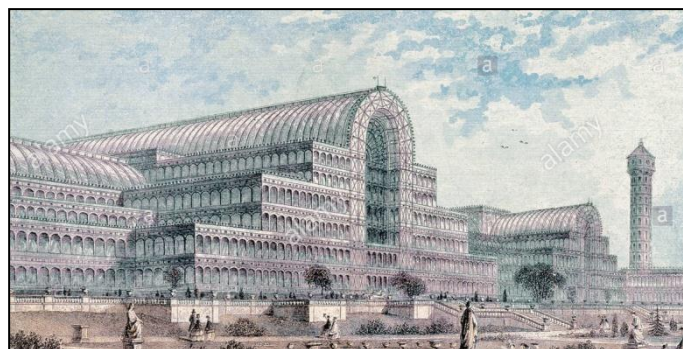


Figure II.16 : le palais crystal à londre 1851
(Source : www.alamy.com)

Au début des 20 siècles, l'apparition de nouvelles techniques, l'industrie de l'époque et les nouveaux matériaux (verre, acier et le béton) ouvraient la voie à des nouvelles possibilités de construction. Ces évolutions laissaient les architectes de cette période à penser de manière nouvelle, avec une vision commune. Ils tentent d'inventer une nouvelle architecture libérée des contraintes de l'histoire et différente de celle de l'époque précédente qui est caractérisée par les ornements. Ils essayent en plus, de concevoir des espaces ouverts, où l'homme peut profiter de la lumière, l'air et le soleil (Schittich, et al. 2012).

D'abord, cette architecture moderne dite de verre, s'est développée au début en 1914 suite à la publication du traité de Paul Scheebart « l'architecture de Crystal » et la construction du Pavillon de Crystal de Bruno Taut à Cologne. Ensuite, en 1913, avec l'usine Fagus que Gropius construisait à Hannover, qui est un bâtiment avec une façade rideau, suspendu devant la structure de l'édifice (Kottas 2013). Il adopta le principe d'un mur de verre transparent et mince assemblé par une structure légère en acier profilés, s'élevé sur toute la hauteur de la façade sans aucune interruption. Cette peau transparente n'occupe aucun rôle porteur, sa

fonction, est seule la protection du climat intérieure au celui de l'extérieur (Schittich, et al. 2012)

En outre, cette architecture de verre est marquée aussi par Mies Van Der Rohe, dans ses dessins des deux projets de gratte-ciels. En 1919 il a conçu le gratte-ciel de la Friedrichstrasse, et le gratte-ciel de façade voilée de 1920, les deux édifices sont caractérisés par des façades que sont entièrement avec lamelle de verre sans cadre. Après Mies Van Der Rohe, a parvenu de réaliser deux projets où le verre occupe un rôle architecturale essentiel (Kottas 2013), il s'agit de la maison Tugendhat de Bruno (1930) et le pavillon allemand de Barcelone (1929)



Figure II. 17:Usine Fagus, 1914, Allemagne
(Source : Histoires de Patrimoine Mondial
. worldheritage.si.edu)



Figure II.18:le Bauhaus, 1926, Dessau
(Source : Murra, 2009)

Ensuite, Le Corbusier a apporté une importante influence à l'évolution de cette nouvelle architecture, en 1929, il a introduit les cinq principes d'une architecture moderne. Alors le mur de façade du bâtiment a été développé suite à l'utilisation de la fenêtre en longueur (un des cinq points) et les panneaux de verre. Ainsi, il est permis de concevoir des ouvertures avec des dimensions plus grandes libérées de toute contrainte (Schittich, et al. 2012). Ces cinq points ont été mis en pratique avec la ville Savoye 1931.

En plus que ces vastes vitres ont causé les problèmes de l'excès de chaleur à l'intérieur des bâtiments, il est trouvé après que, les fonctions assurées par le mur massif (accumulation et restitution de chaleur, protection contre : la chaleur, le soleil, la vue et le bruit), ne peut au mur de verre à les assurer. Cependant, il est nécessaire de compléter le mur en verre pour assumer les principaux rôles d'une façade extérieure (Schittich, et al. 2012).

Dans la première étape, le Corbusier suit des solutions techniques pour résoudre ce problème, Il propose pour la cité de refuge à Paris 1930 (composer d'un pan de verre sans ouvrants de mille mètres carrés, orienté plein sud), le principe de « **respiration exacte** », qui s'agit d'une ventilation du pièces, grâce à un renouvellement d'air à double flux (. Et le « mur neutralisant, qui consistait à pulser selon les périodes de l'air chaud ou froid, dans l'espace entre les deux parois en verre. Ce système, permettra de diminuer les échanges radiatifs avec le vitrage. Ces dispositifs inventés par le Corbusier, se posaient de problèmes des surcoûts ce qui empêche de les mettre en œuvre (Chevallier, Andrieux et Gallo 2005).

En seconde étape, en 1932, le Corbusier cherche une méthode architecturale pour contrôler l'ombre sur les surfaces de verres. Il a développé le dispositif du brise-soleil, pour objectif le

contrôle de rayonnement solaire sur la façade vitrée. Cette invention trouve sa première application dans l'usine Claude et Duval à Saint-Dié. Ensuite, ce dispositif a été mieux représenté sur les façades de l'unité d'habitation de Marseille (1946), après elle prendra de diverses formes (Siret et Harzallah 2007).

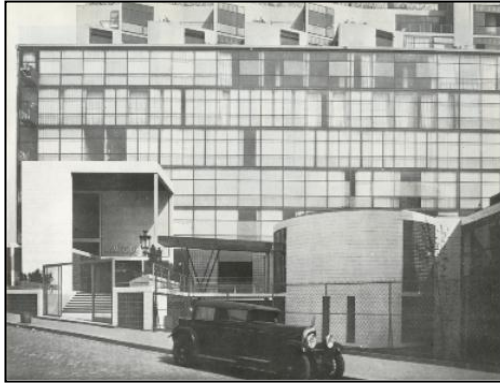


Figure II.20: la cité de refuge à Paris 1930.
(Source: west86th.bgc.bard.edu)



Figure II.19:Gratte-ciel de verre imaginés par Mies van der Rohe, à Berlin, 1919
(source Schittich, et al., 2012)

Une autre image de cette architecture est représentée dans les bâtiments d'enseignement. À Amsterdam, l'architecte Johannes Dulker, a conçu l'école de plein air, ouverte à la lumière, l'air et le soleil. Il utilise une peau de grands panneaux de verre sur l'ensemble des façades de l'école.



Figure II.21: L'école de plein air d'Amsterdam 1930
(Source : Laila Wernli, 2012 www.espazium.ch).

Les nouveautés consécutives dans le verre et les matériaux de construction, ont ouvert la voie à élargir les possibilités pour utiliser le verre dans l'architecture d'une manière plus marquante.

II.6. Verre et problème d'énergie

Les critiques élevées dans le milieu des années soixante-dix, contre l'architecture de verre ne visaient pas uniquement les façades stéréotypées mais surtout la perte d'énergie. Cette grande consommation d'énergie s'est expliquée par la déperdition thermique à travers des grandes façades vitrées en hiver, et la hausse transmission de chaleur extérieure à l'intérieur en été. Ce qui amène à la nécessité d'utilisation des systèmes mécaniques de climatisation et de chauffages qui, à leurs tours consomment beaucoup d'énergie.

A cet effet, des normes de mesures pour une consommation rationnelle de l'énergie, ont été adoptées par de nombreux pays développés. Ainsi, l'utilisation de grandes surfaces vitrées sur la façade est tombée en critique, elle est considérée comme une source de gaspillage de l'énergie. (Schittich, et al. 2012).

II.7. Le verre dans l'architecture solaire :

L'architecture solaire est basée sur l'utilisation passive de l'énergie solaire, qui est à son tour basé sur le principe de l'effet de serre généré par le matériau verre. Cette savoir d'effet de serre est découvert en 18^{ème} siècle par Horace B Bénédict, un physicien suisse. Au début, ce principe est réalisé seulement dans les grandes serres et jardins d'hiver de cette époque. Ensuite, les architectes ont adopté ce principe pour réaliser des bâtiments solaires passifs dont les façades vitrées. Nous citons quelques **édifices de verre** qui ont marqué, à travers l'histoire, l'évolution de cette architecture solaire (Schittich, et al. 2012).

En 1932, à Berlin l'une des premières maisons passives est réalisée par l'architecte Martin Wagner. Il recouvre des espaces tampons par des panneaux vitrés obliques, qui permettent la protection contre les intempéries et la diminution des déperditions de l'air chaud, entourant le bâtiment.

En 1948, la maison solaire Sun house à Dover conçu par Tekers et Raymond, peut assurer un chauffage passif grâce l'énergie solaire capté par le mur en verre. Le vitrage est utilisé sur la totalité de sa façade sud (Figure II.22), avec un système d'accumulation de chaleur bien étudié.



Figure II.22: Dover Sun House, 1948
(Source : SAH/SCC, 2013, sahscc.org)

En 1961, l'architecte A. Morgan conçoit en Angleterre, un bâtiment d'enseignement scolaire doté d'une façade à double peau en verre (Figure II.23). L'espace entre ces deux peaux en verre est de 60cm, des panneaux d'aluminium se trouvent derrière, destinés à contrôler le rayonnement solaire et de chauffer l'intérieur du bâtiment. Avec l'utilisation de verre comme capteur d'énergie solaire, cet édifice permet d'assurer un climat intérieur agréable même pendant les périodes froides. Dans ce projet de verre, l'architecte Morgan a s'inspiré aux idées utilisées pour la Cité de Refuge à Paris, où le Corbusier a développé le concept de « mur neutralisant ». (Schittich, et al. 2012)



Figure II.23: un bâtiment scolaire ,1961
(Source : Russel & Linn, 2014)

Le mur à accumulation de la chaleur est créé par Félix Trombe dans les années 50, connue sous le nom « mur Trombe ». Il s'agit de disposer un mur épais en pierre ou en béton de forte inertie, devant lequel on installe un mur en verre qui a pour objectif de capter l'énergie solaire. Le principe est que, le mur à forte inertie, accumule la chaleur qui vient du verre pendant le jour et la restitue à l'intérieur pendant la nuit. En 1962, Trombe réalise avec Jacques Michel une maison solaire en France (Figure II.24), où ils ont développé le principe de mur accumulateur en utilisant un vitrage isolant, un mur en brique et des bouches d'aération. Le verre utilisé ici, est connu sous Le principe solaire « mur Trombe Michel ».



Figure II.24: maison Trombe Michel, 1962 à France.
(Source Courgey & Oliva, 2007)



Figure II.25: maison Herzog, 1982 Munich
(Source : Davies, 2006)

En 1982, A Munich en Allemagne Thomas Herzog, a conçu des maisons d'habitation avec plans à **zonage thermique**³, il a pratiqué le principe des façades à inclinaison et entièrement vitrées orientées au sud pour maximiser les apports solaires (Figure II.25).

À la fin des années 70, de nouvelles conceptions de façades à double peau en verre ont été développées par les architectes. Sur le plan thermique, ces idées permettent la pénétration de l'énergie solaire et la limitation des déperditions thermiques grâce à l'existence d'un espace intermédiaire entre les deux peaux. L'avantage de cette technique est le fait de ne pas avoir recours à des technologies supplémentaires (Schittich, et al. 2012).

La façade de l'**Occidental Chemical Center** La première façade à double peau a été conçue en 1980 par le cabinet d'architecture américain Hellmuth, Obata & Kassabaum. Sur Un double vitrage isolant sur la face externe et un simple vitrage à l'intérieur. Entre ces deux peaux une protection solaire disposée avec des lamelles réglables. Ils ont utilisé sur la face externe un double vitrage isolant, et sur celui interne un simple vitrage. Un système de lamelles réglables disposé entre les deux peaux permet la fonction une protection solaire.

En Allemagne à Bonn, Une **tour elliptique** à façade double peau est conçue par les deux architectes Murphy/Jahn. Dans ce projet, l'espace intermédiaire entre les deux peaux en verre joue le rôle d'une zone tampon thermique, il protège l'espace intérieur des vents froids, en même temps permet un renouvellement de l'air frais, grâce des ouvertures de ventilation qui munirent les deux parois de la façade (Schittich, et al. 2012).

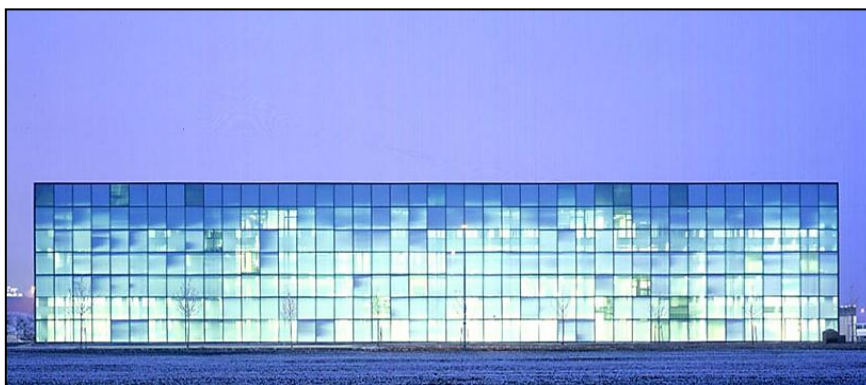


Figure II.26: l'Occidental Chemical Center, 1980.
(Source : fink-jocher.de, 2016)

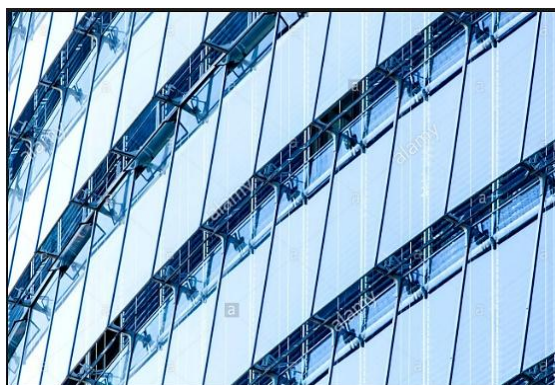


Figure II.27: panneau de façade, la tour elliptique à Bonn. (Source : alamy.com, 2016)

³ Une méthode de conception qui consiste à cloisonner les espaces en différentes zones, pour protéger les espaces de vie et profiter des apports solaires en utilisant des parois vitrées.

II.8. Optimiser la qualité thermique des surfaces vitrées :

Lors de la conception des parties transparentes, de nombreuses exigences doivent être assurées : utilisation de la lumière du jour, isolation thermique, vues par transparence, anti-éblouissement, etc.

Les surfaces transparentes ont une moins bonne protection thermique que les parties opaques, et ce pour des raisons liées au matériau. La dimension et la disposition des éléments vitrés jouent une grande importance dans les déperditions par transmission. Les vitrages exposés au soleil apportent des gains de chaleur pouvant dépasser les déperditions utiles en saison froide, mais provoque des surchauffes en saison chaude.

Il est possible de définir une qualité optimale de verre en fonction de la proportion de vitrage, de l'orientation, de type de protection ainsi de la performance souhaitée pour l'enveloppe du bâtiment.

II.8.1. Qualité du verre

Comme pour les parties opaques, les propriétés thermiques des vitrages sont très variables selon la zone climatique et le mode d'utilisation, la capacité d'isoler thermiquement dépend de facteur de transmission thermique U de verre.

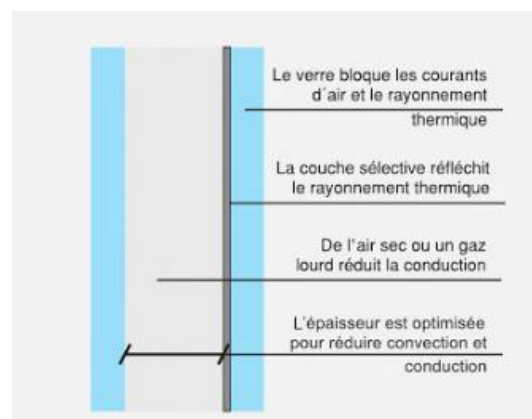
Les systèmes allant du simple vitrage aux éléments de vitrage isolants qui peuvent être mis en œuvre avec des couches et des gaz très divers.

La transmission thermique à travers le vitrage se change en fonction de type de vitrage, le Tableau II.3 en dessous, montre l'influence exercée par la qualité du vitrage sur la valeur U et g, pour différents types de vitres (Hegger, et al. 2011).

Type de vitrage	Composition (mm)	Valeur U (w/m2k)	Valeur g (%)
Simple vitrage	4mm	5.9	87%
Double vitrage simple	4/16/4	3.3	73%
Triple vitrage simple	4/12/4/12/4	2	66%
Double vitrage à faible émissivité	4/12/4	1.8	67%
Triple vitrage à faible émissivité	4/12/4/12/4	1.4	60
Double vitrage à isolation renforcé avec gaz	4/12/4	1.1 à 1.8	65%
Triple vitrage à isolation avec gaz rare	4/12/4/12/4	0.5 à 0.8	60%

Tableau II.3: valeur U en fonction de différences types de vitrage
(Source : Courgey & Oliva, 2006)

Figure II.28: principe de l'amélioration de la performance thermique du vitrage par les différents constituants (source :Roulet 2012).



Aussi, la caractéristique spectrale de transmission, absorption et réflexion du vitrage influe la transmittances absolue et relative de la chaleur. Les principaux types étant les verres clairs, les verres absorbants, les verres réflecteurs et les verres gris ou colorés. Pratiquement les verres absorbants absorbent et les verres réflecteurs réfléchissent le rayonnement infrarouge à un degré plus grand que le verre clair ordinaire, les verres gris colorés absorbent plus la partie visible du spectre solaire et peuvent être gris ou coloré selon la fraction de la lumière visible absorbée est plus moins grande (Givoni 1978).

Type de verre	Transmission directe	Gain du au rayonnement absorbé	Total
Verre clair	74	9	83
Verre à fenêtre	85	3	88
Verre absorbant	20	25	45
Verre gris	30	30	60
Verre laqué	38	17	55

Tableau II.4: transmission et gain de chaleur par divers types de verres (source : Givoni, 1978)

II.8.2. Proportion de vitrage

La taille de la surface vitrée est un facteur déterminant dans la quantité d'énergie transmise, puisque le vitrage absorbe et conduit bien la chaleur en été par apport aux murs opaques de l'enveloppe. En effet, ce paramètre peut être expliqué, par une expérience présentée dans la Figure II.29 en ci-dessous. Cette expérience, montre trois cas de variation de la surface vitrée d'une même pièce (3m de largeur et 5 m de profondeur). Dans la première situation, avec une proportion de surface vitrée de 30% dotée d'un système de protection jalousie extérieur ($f=0.2$), l'apport en énergie est de 10w/m^2 . dans le deuxième cas, la proportion du vitrage est augmenté en 60% avec le même valeur $g=0,6$ et un système de protection par l'intérieur ; jalousie ($f=0.5$), l'apport thermique ici est augmenté à une valeur de 40% . dans le troisième cas, malgré que la valeur g est diminué ($g=0.3$) par apport aux deux premiers cas, la quantité d'énergie transmise est atteint une valeur de 80w/m^2 .

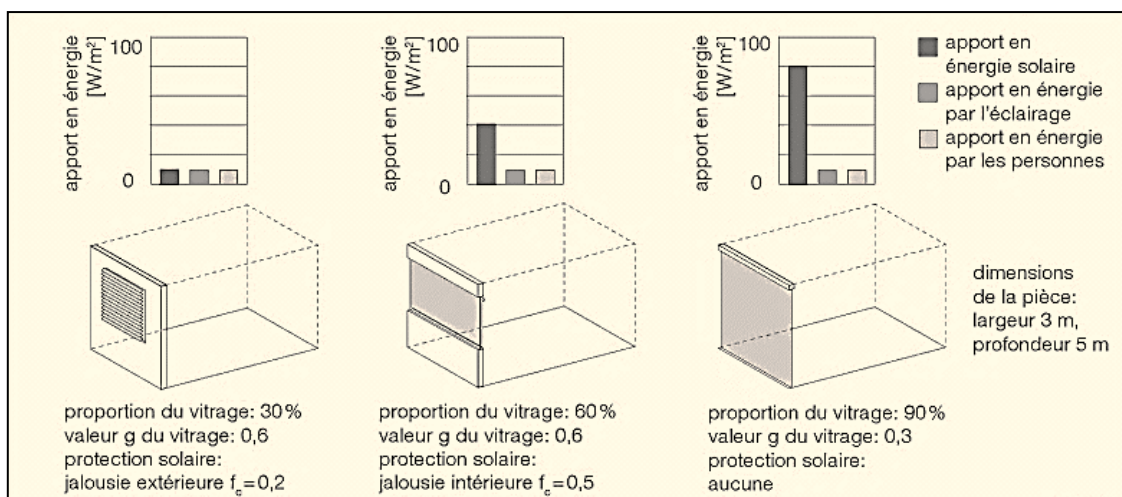


Figure II.29: influence de la proportion du vitrage sur l'apport thermique.
(source : Hegger, et al. 2011).

Cette expérience a montré que la quantité d'énergie transmise à travers le vitrage, est reliée en grand part, à la proportion du vitrage utilisée, en suite à l'efficacité du système de protection. Pour cela, dans un climat chaud est sec, il est nécessaire de concevoir des surfaces vitrées en tenant compte l'intensité de rayonnement solaire, afin que ces surfaces n'entraînent pas à l'augmentation des charges thermiques à l'intérieur du local.

Cette énergie solaire dépend de l'orientation des surfaces transparentes. En tenant compte les paramètres de l'utilisation de lumière naturelle, gains passives et le contact avec l'extérieur offerts par le vitrage, Hegger et al (2011), préconisent des pourcentages de vitrage pour chaque orientation :

Sud : ne pas dépasser 50%

Est/Ouest : 30%

Nord : orientation négligable de point de vue protection thermique en été.

II.8.3. Protection solaire

En plus la qualité de produit de verre, qui participe à la diminution de la transmission thermique à l'intérieur, ainsi la qualité thermique des surfaces vitrées, celles –ci dernières peuvent être protégées du rayonnement solaire direct, durant les périodes chaudes, par l'architecture des façades et le système de protection solaire.

Pour l'optimisation par la conception de l'enveloppe, on y trouve différents dispositifs architecturaux qui permettent de procurer un ombrage aux surfaces vitrées, ces dispositifs peuvent être se réaliser en : des avancées, des retraits, des saillies et des angles d'inclinaison.

Quant à l'optimisation par les systèmes de protection solaire, on y trouve différents groupes qui peuvent se divisée selon les critères suivants : fixe ou mobile, mono-axial ou bi-axial, opaque ou translucide, horizontal ou vertical, etc.

La position de la protection par apport à la surface vitrée est un facteur essentiel pour la détermination de l'efficacité d'un système de protection solaire. En effet, un système d'ombrage installé à l'extérieur, protège dès le début, le vitrage au rayonnement solaire direct d'atteindre à l'intérieur. Cela, obtient une valeur de facteur « g » plus basse, en conséquence, une qualité thermique plus efficace. En revanche, un système de protection intérieur laisse passer une quantité d'énergie solaire directe à travers la vitre, par la suite, il rend la modification de flux solaire plus faible. Cette chaleur transmis par le vitrage et absorbée par la protection, entraîne à une augmentation de la température intérieure, ce qui produit un réchauffement du local. En conclusion, sur le plan thermique, les protections solaires extérieures sont toujours plus efficaces que celles disposées à l'intérieur (Hegger, et al. 2011).



Figure II.31: protection extérieur mobile et protection fixe (Source : C. Alain, 2012)



Figure II.30: avancé de façade, (Source Hegger, 2011)

II.9. La baie vitrée, définition et évolution :

Des différentes définitions de la baie étant données par les dictionnaires :

- Selon le Robert, la baie est une « Ouverture pratiquée dans un mur, ou dans un assemblage de charpente pour faire une porte ou une fenêtre ». (*Le robert, 2015*)
- Selon L'encyclopédie encarta, la baie est « Ouverture pratiquée dans un mur » (*encarta, 2010*)
- Le dictionnaire hachette définit la baie comme « Ouverture, fenêtre » (*hachette*).
- Dans le dictionnaire d'architecture la baie est « toute ouverture pratiquée dans une construction (maçonnerie ou charpente). Quelle que soient ses dimensions et sa fonction (porte, fenêtre, arcade, lucarne claire-voie, vitrine), une baie libre est une baie sans fermeture » (Lavenue et Mataouchek 2009).

D'après les définitions citées en ci-dessus, on peut conclure qu'une baie vitrée est une ouverture, dans un mur, fermé par le vitrage, elle peut faire une porte ou une fenêtre. La baie vitrée qui va être étudiée dans cette recherche est une grande **ouverture vitrée percée** dans le mur et **incluant** dans la plupart des cas un ouvrant.

Au cours des siècles, La baie de la fenêtre a connu des multiples développements, elle a pris de différentes dimensions, forme, dispositions et décorations suivant les climats, les matériaux et la fonction des édifices. En effet, malgré les évolutions morphologiques, topologiques et décoratives qu'a connue la baie de fenêtre, le rôle de laisser passer de la lumière naturelle reste son but principale (Phillips 2004). À travers une exposition historique de ses caractéristiques, on permettra de tirer les principaux éléments qui ont guidé à son évolution ainsi son rapport à l'architecture.

Dans les premiers temps de et avant le développement du matériau verre, les ouvertures de fenêtre ont été remplies par de grille d pierres, de bois, de fer ou par d'autres matériaux translucides, comme le mica ou le papier (encyclo-birtanica 2017).

En Egypte ancienne, les ouvertures percées dans les murs des maisons, palais, et Temples sont couvertes de peaux, de nattes ou des rideaux, elles ont des petites dimensions. En **Assyrie**, les fenêtres étaient plus longues et étroites, subdivisées par de petites colonnettes (encyclo-birtanica 2017).

Dans la Grèce **ancienne**, les dimensions des fenêtres dans les temples, étaient plus larges que haute, dans les maisons, la porte donnant sur la cour centrale a permis l'éclairage des pièces de la maison, alors peu d'utilisation des fenêtres dans ces demeures.

À l'époque **romaine**, le verre est commencé à couler par les romains, il est utilisé dans les fenêtres en forme de petites plaques de verres assemblés. Alors là, la fenêtre vitrée a commencé à ressembler à la fenêtre telle qu'elle connut aujourd'hui. Ses formes étaient carrées et rectangulaires, percées en haut de l'édifice « ...les grands pans de mur sont percés par de fenêtres hautes en plein cintre » (Gympel 1996, p14). Comme cet art a subi des influences d'art grecque, les ouvertures étaient décorées par des corniches et consoles.

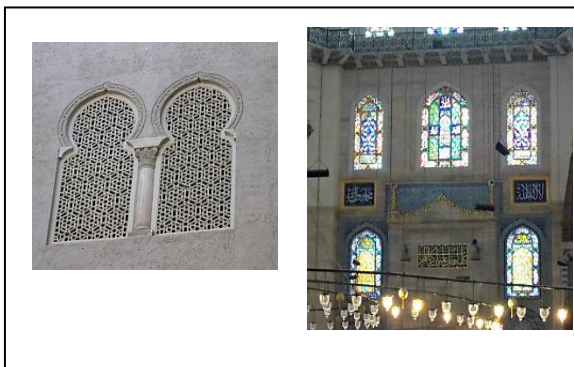
En période **médiévale**, la recherche d'apporter lumière naturelle à l'intérieur, façonne la forme, le nombre et l'emplacement des fenêtres dans les bâtiments. Alors, elles sont vitrées et plus nombreuses, encadrées de dentelles de pierre, elles devenaient après plus grandes (encyclo-birtanica 2017). Les constructeurs ont utilisé des carreaux de verre coloré en mosaïque, réunies à l'aide des baquettes de plomb, pour permettre la diffusion de la lumière à l'intérieur (Weston 2013).

À l'architecture **islamique**, les fenêtres des maisons étaient extrêmement riches en décor, dotées de grillages et fuseaux en bois sculpté (encyclo-birtanica 2017). Pour les édifices publics (mosquée, Médersa), leurs ouvertures étaient remplies par de verre colorée, son emplacement était souvent en haut, avec des dimensions variables dans la plupart de cas sont petites.

Pendant la période de **renaissance**, la forme des ouvertures était rectangulaire, plus haute que large, encadrées de pilastres, et décorées fréquemment par des corniches, consoles et architrave. Elles sont divisées selon les règles classiques, par une traverse est un meneau.

À la fin de la **Renaissance**, les constructeurs Français, ont introduit un type de fenêtre connue sous le nom « fenêtre française », qu'il s'agissait d'un type de fenêtre vitrée à grande battants, sa forme est longue que large et descendante jusqu'au sol. En Angleterre, le rayonnement lumineux est moins intense, pour cette raison, les bâtisseurs ont développé deux grands types de baies vitrées, la fenêtre à châssis coulissant verticalement et la fenêtre à double travée (encyclo-birtanica 2017).

Dans l'**architecture moderne**, de nombreux procédés de construction ont été développés grâce à l'introduction des nouveaux matériaux (acier, béton) et les innovations dans la fabrication de verre. Ces nouvelles techniques constructives, ont permis d'étendre le vocabulaire architectural, en effet avec le matériau acier, il a rendu possible d'utiliser de fenêtre vitrée à surfaces plus grandes sur la façade (encyclo-birtanica 2017). A cet effet, certains concepts nouveaux sont apparus, le Corbusier a introduit la façade libre et la fenêtre et bandeau, et W. Gropius fait développer le concept de mur-rideau, où la façade extérieure est devenue complètement vitrée (Weston 2013). Des gratte-ciels, des immeubles de bureaux ou encore des maisons ont été complètement recouvertes de verre. Après, et suite aux exigences d'économie de l'énergie (1973) et le besoin de confort, la conception des fenêtres et des surfaces de verres sont souvent faites suite des exigences thermiques réglementaires. Ainsi, les fenêtres sont construites avec double ou triple vitrage séparé par un vide.



Islamique (source : wikipédia)



Renaissance
(source : archieturbanisme.canalblog.com)



Moderne (source : wikipédia)



Figure II.32: illustrations des types de baies au cours des périodes.

En guise de conclusion, au cours des siècles, la conception de la baie de fenêtre, est étroitement liée à l'évolution des styles architecturaux, des matériaux de construction, et aux progrès technologiques dans la fabrication du verre.

II.10. Les ouvertures dans l'architecture saharienne, (ksour)

« L'architecture Ksourienne est le produit d'une culture de masse nourrie de la quotidienneté, de l'environnement et du génie local » (Djeradi 2017). Ce dernier a permis d'intégrer le climat et les contraintes naturelles dans la conception architecturale. Le type de fenêtres et des ouvertures utilisées dans cette conception, est parmi les éléments importants qui façonnent cette architecture.

Dans les constructions de cette architecture, le climat est désertique, alors le percement des ouvertures sur les façades extérieures est utilisé de manière réduite. Ces percements sont peu nombreux, peu de porosité sur la façade, dans le but de protéger de l'air extérieur trop chaud, qui est une source d'inconfort.

Les dimensions de ces ouvertures sont en générale petites et elles sont protégées des rayons solaires, par des occultations (brise-soleil, claustras. . .) et rarement orientées à l'Est ou à l'Ouest. Leur emplacement sur le mur par rapport à l'environnement extérieur est fait de sorte qu'elles captent de la lumière naturelle et la transmettent à l'intérieur d'une manière optimale. La protection des surfaces vitrées était assurée grâce aux dispositifs d'ombrage (épaisseur de mur, volets extérieurs).

Les ouvertures qui sont percées à l'intérieur de l'édifice et donnant sur le patio, sont plus larges que celles à l'extérieur, elles ont pour rôle est le renouvellement de l'air intérieur, les réductions de la lumière intense et éviter les rayons solaires directs.



Figure II.33: Ksar Timimoun (Algérie).
(Source : Benabdellah, 2015)



Figure II.34: Ksar Ouarzazate (Maroc).
Source : (Liébard et De Herde 2005)

II.11. Les composants de la baie :

La baie vitrée un composant de l'enveloppe qui est à la fois laisse la lumière naturelle entrer à l'intérieur de l'espace, apporte de l'air et assure la relation visuelle de l'intérieur vers l'extérieur. Elle est constituée d'un encadrement appelé « châssis », d'un vitrage et souvent d'une protection solaire mobile : volet, persiennes, store, jalousie ou rideau. Ses constituants sont :

II.11.1. Le châssis :

C'est une structure d'encadrement de la baie, elle la donne la forme géométrique souhaitable (rectangulaire, carré, circulaire, etc.), permet la fixation du vitrage en place, assure la partie ouvrante ainsi la ventilation de l'espace. Elle peut être réalisée en différents matériaux : le bois, l'aluminium, l'acier, le PVC, Le polyuréthane. Ses composants sont :

- 1- *Le dormant* : il s'agit de la partie solidaire à la paroi, ou la structure et qui entoure la baie. C'est l'élément majeur d'un châssis.
- 2- *L'ouvrant* : C'est le panneau mobile du châssis, appelé vantail ou battant

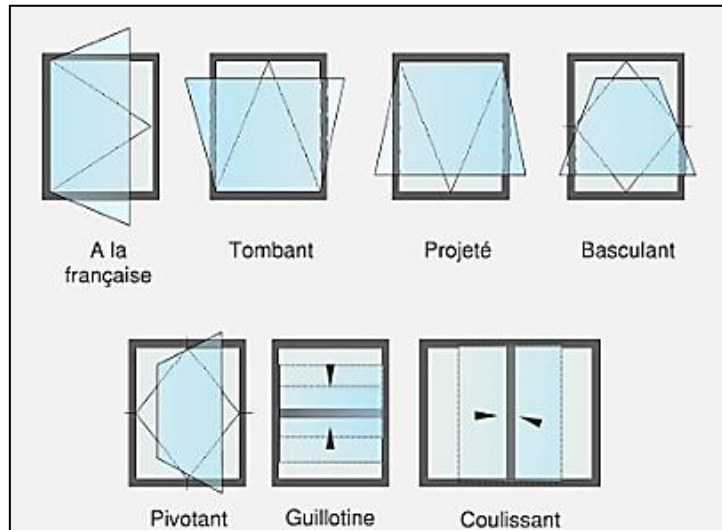


Figure II.35:types d'ouvrant, (source : Roulet 2012)

II.11.2. Le vitrage :

Il s'est placé sur le cadre de la baie, et se réalise en simple, doubles ou triples plaques séparées par des vides. En termes d'isolation thermique, le vitrage a une isolation faible, les pertes thermiques travers la surface vitrée augmentent. De plus, il transmet plus de la chaleur à l'intérieur de bâtiment en moment chaud.

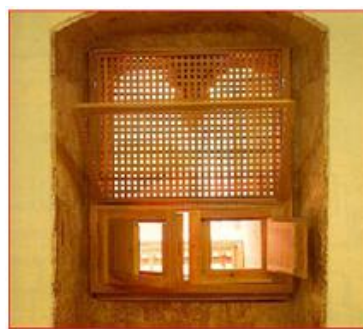
II.11.3. Protection solaire :

La protection solaire associée à la baie, peut être placée en différentes positions, soit à l'intérieur, à l'extérieur ou bien entre deux plaques de verre lorsqu'il s'agit d'un verre double. Elle peut être mobile (volet, persienne, store) ou fixe (moucharabieh, flanc, claustrât). La position et le type de système de protection, influencent la transmission thermique (facteur solaire) et lumineuse (facteur lumineuse) ainsi le confort thermique et lumineux.

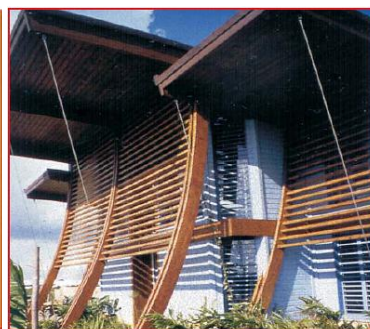
Du point de vue thermique, la protection est pour adjectif de limiter la transmission de rayonnement solaire à travers le vitrage par conséquent éviter les surchauffes des locaux. Quant à l'aspect lumineux, le dispositif de protection peut gérer l'intensité lumineuse qui peut être également source d'éblouissement. Cette gestion se fait, selon l'orientation de la baie et le moment de la journée.



Figure II.36 : protection extérieure mobile. (Source : Auteur, 2017).



Moucharabieh



Protection fixe extérieure des Baies d'un immeuble de bureaux.

Figure II.37 : protections solaires fixes. (Source : Liébard et De Herde, 2005)

II.12. Fonctions de la baie de fenêtre :

Les ouvertures vitrées sont des éléments architecturaux, qui font partie des composants de l'enveloppe du bâtiment et qui peuvent jouer de multiples fonctions. En plus leur rôle est de caractériser la façade, elles permettent à la fois d'offrir les fonctions suivantes :

- Relation visuelle avec l'extérieur.
- Laisser pénétrer la lumière.
- Ensoleillement.
- Ventilation de l'espace.
- Dissiper la chaleur.
- Protéger des surchauffes et d'éblouissement.
- Protéger de chaleur et du froid.
- Isoler de bruit.

En revanche, ces buts recherchés d'atteindre par la baie, peuvent causer par conséquent des effets d'inconfort, le tableau ci-dessous montre les différentes fonctions avec leurs effets non souhaitables :

fonction	But recherché	Effet non souhaités
Vue	Contact avec l'extérieur	Perte d'intimité
Lumière	Eclairage naturel	Eblouissement, surchauffe
Aération	Echange air vicié-air neuf	Pertes de chaleur
Isolation Thermique	Protection contre le froid et de la chaleur	Isolation d l'extérieur
Gains de chaleur	Apports solaires	Surchauffe
Isolation acoustique	Protéger du bruit extérieur	Etanchéité à l'air, bruit

Tableau II.5 : fonctions de la baie de fenêtre, (source : Roulet, 2012)

II.12.1. Fonction thermique :

En générale, la baie et l'enveloppe du bâtiment sont à la fois des facteurs déterminants des performances énergétique, lumineuse et visuelle. Pour cela, la conception de la baie doit se faire de sorte qu'elle complète et rejoigne les performances de l'enveloppe. En fait, les

dimensions, l'orientation, la typologie et le système de protection utilisé sont conditionnés par le climat local (Simon, et al. 2001).

Les caractéristiques de transmission à travers la baie et la température de surface vitrée déterminent les performances thermiques de la fenêtre ainsi que son rendement énergétique. La fonction thermique de la baie peut se répartie en trois usages :

II.12.1.1. Ensoleillement (gain de chaleur) :

La partie d'énergie incidente à travers la baie peut être une source de chauffe en hiver. D'où cet apport de chaleur gratuit, qui peut en tirer parti pour chauffer les pièces de bâtiment, est constitué par l'effet de serre généré par le vitrage. Il semble utile en hiver dans un climat froid, mais inutile en climat chaud, il doit l'éviter. Le degré d'ensoleillement à travers la fenêtre est mesuré par le facteur « g » (voir section II.4.3 ci-dessus), dépend de caractéristiques de l'ouverture, des protections solaires et du contexte.

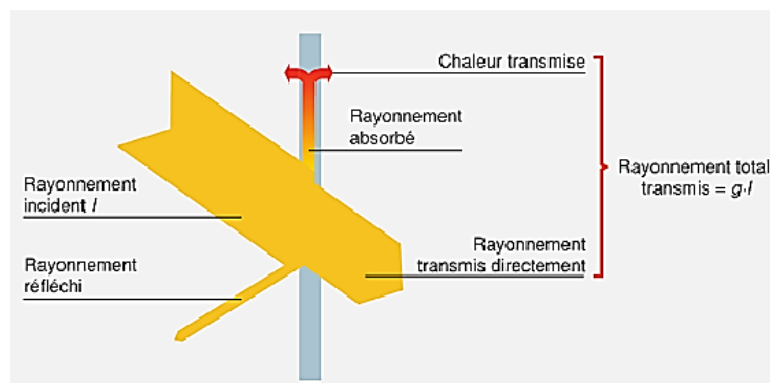


Figure II.38: ensoleillement (gains de chaleur) à travers la baie vitrée (source : Roulet, 2012)

II.12.1.2. Contrôle des apports (protection de la surchauffe).

L'excès de rayonnement solaire incident par la baie de fenêtre, provoquer le réchauffement des locaux, par conséquent un état d'inconfort thermique chez les occupants. Alors, le contrôle des apports solaires à travers la baie, est une tâche nécessaire pour assurer un état de confort thermique et visuel aux occupants. Cette maîtrise d'ensoleillement peut se faire par :

La dimension des baies de fenêtres :

En climat saharien, les grandes ouvertures et fenêtres doivent être orientées nord et sud, mauvaise orientation est-ouest. Leurs Dimensions doivent être réduites et protégées du rayonnement direct et de l'éblouissement (Mazouz 2014).

La qualité du vitrage :

Le facteur solaire « g » du vitrage a une grande influence sur le pourcentage des gains énergétique qui provoquent suite un excès de chaleur le surchauffe des pièces. Ces gains sont conditionnés par la valeur du facteur solaire g de la vitre, d'où tant sa valeur sera élevée, tant les gains augmentent (Simon, et al. 2001). La Figure II.39 en ci-dessous, montre les différents pourcentages de transmission d'énergie « g » selon le type de vitrage utilisé.

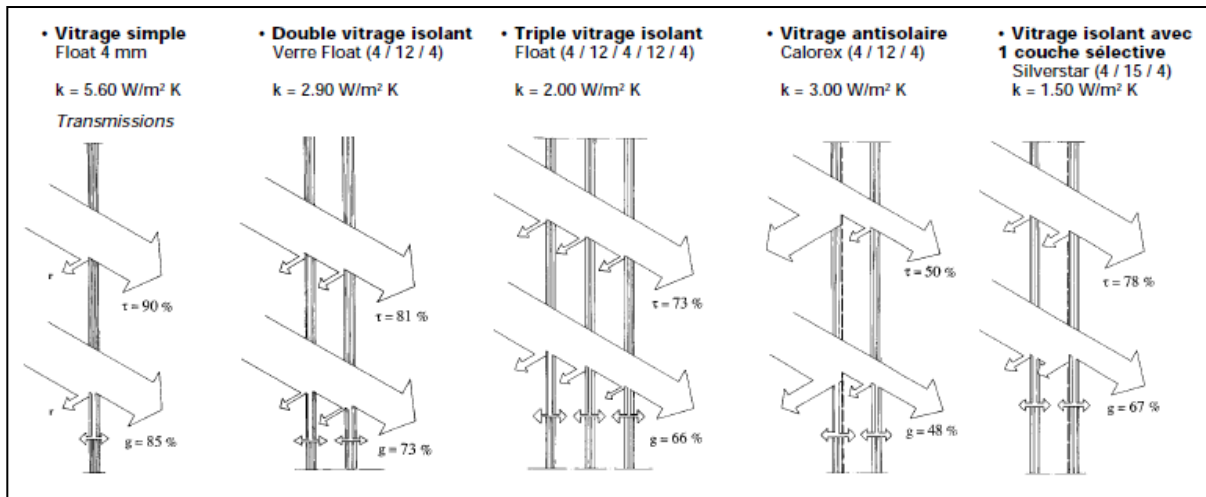


Figure II.39: Facteur de transmission solaire « g » et lumineuse « t » selon le type de vitrage.
(Source : Knobel, 1991)

L'occultation :

Dans les zones à climat chaud, on peut atténuer l'incidence d'énergie en façade nord et sud où le soleil est en haut, grâce à des avancées de toiture, et une conception des zones intermédiaires. A l'Est et à l'Ouest, le soleil est en bas, l'utilisation des flancs verticaux, protègent de l'ensoleillement le matin et la soirée. Aussi, l'implantation des végétations permet d'assurer un large ombrage sur les murs et les baie de fenêtres.

En fait, Mazouz. S (2014), explique que dans un climat saharien, un système de protection des baies peut se réaliser comme ce suit : en hiver, on utilise des végétations à feuilles persistantes poussant dans le sud. Tandis que, en été, l'occultation baies doit être totale (Mazouz 2014, 191)

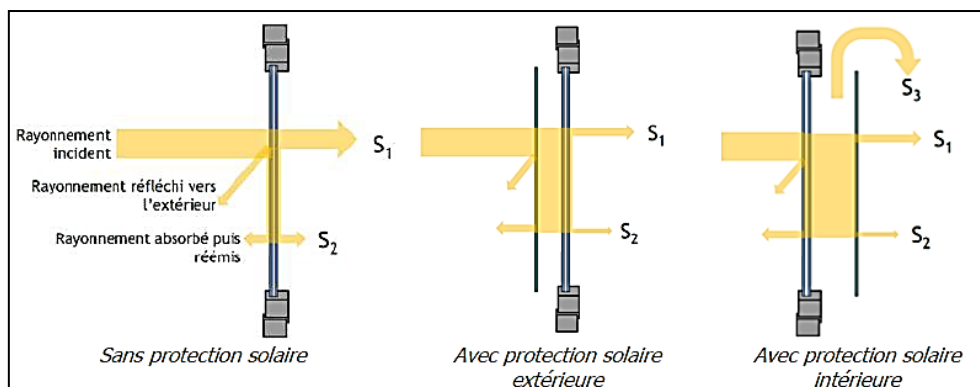


Figure II.40: quantité de facteur solaire transmis selon la position d'une protection
(Source : ffbatiment.fr, 2017)

II.12.1.3. Méthode graphique pour concevoir d'une protection solaire fixe :

Il s'agit des méthodes graphiques de conception de protection utilisées par les architectes, leur intérêt réside dans leur capacité à offrir une multitude d'utilisation suivant le temps dont dispose le concepteur et l'importance du facteur d'ensoleillement dans le projet (Mazouz 2014). Il s'agit de :

1. Définir d'après l'orientation le type de protection solaire à adopter (verticale, horizontale ou les deux associées)
2. Superposé le diagramme de masque d'une protection sur le diagramme solaire, pour lire les angles verticaux et horizontaux.
3. Calculer les dimensions des protections en utilisant le diagramme solaire et le calculateur des angles d'ombres.

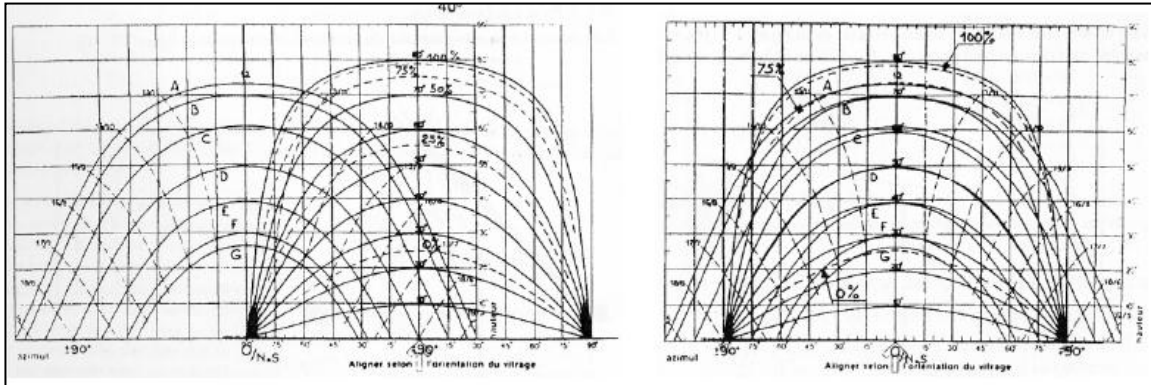


Figure II.41: calcul graphique d'une protection, superpositions des deux diagrammes.
(Source : Belakehal, 2003)

II.12.2. La fonction visuelle et d'éclairage naturel

La lumière de jour pénétrée à l'intérieur d'une espace architecturale, est le résultat de trois composants : la partie directe des rayons solaire, la partie provient du ciel et la partie réfléchis par l'environnement externe immédiat.

La baie de fenêtre, est le composant architectural le plus utilisé dans le bâtiment pour transmettre la lumière à l'intérieur, donc elle joue un rôle majeur dans le confort lumineux. Pour un atteindre ce but de confort visuel, deux paramètres essentiels faut prendre en considération, le premier est de laisser entrer une quantité suffisante de lumière à l'intérieur, le deuxième avoir une répartition **harmonieuse** de cette lumière à l'intérieur (CSTC-Bruxelles 1999).

Pour le paramètre **quantitatif**, il est déterminé par la forme, la dimension de l'ouverture. En plus, le **facteur de transmission lumineuse du vitrage** (matériau de transmission) influence sur l'apport lumineux (Reiter et DE Herde 2004). S'ajoute aussi, l'**orientation de l'ouverture**, d'où les ouvertures orientées au nord transmettent moins de la lumière, que les autres orientées au sud, au sud-est et au sud- ouest.

Le deuxième paramètre **qualitatif**, est conditionné par la répartition d'ouvertures sur la façade, et la position de la fenêtre. D'où plus la fenêtre est haute, mieux la profondeur du local est éclairée (Reiter et DE Herde 2004). Pour augmenter la quantité d'éclairage sur un plan utile de 0.80 m au-dessus du sol, il est nécessaire de concevoir des ouvertures disposant d'une allège de 1m (Fontoynt et al, 2011).

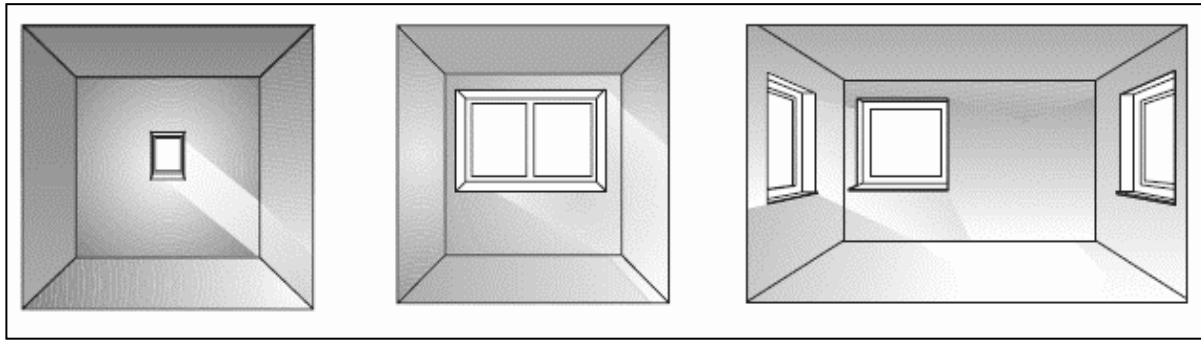


Figure II.42: effets de la dimension et la position de l'ouverture sur la répartition de l'éclairage naturel dans l'espace intérieur. (source : CSTC-Bruxelles, 1999)

II.12.3. La fonction acoustique

Le rôle acoustique de la baie de fenêtre se concrétise de sa capacité de ne pas laisser entrer les bruits extérieurs aériens à l'espace intérieur du bâtiment. Le type de vitrage utilisé dans les baies est choisi selon le type et le niveau de bruit extérieur, pour garantir un confort acoustique (selon le type d'espace) à l'intérieur du local. La performance acoustique d'une baie vitrée dépend de (Simon, et al. 2001) :

- L'épaisseur du verre (augmente avec l'épaisseur).
- De l'étanchéité à l'air les composants de châssis (ouvrant, dormant) et entre châssis et paroi ou structure.
- La capacité d'absorption par les joints du vitrage.

II.13. Coefficient de transmission thermique U_w de la baie de fenêtre :

Rappelons que le coefficient U d'une paroi opaque ou transparente quantifie le pouvoir de transmission de la chaleur à travers cette paroi, par unité de surface et par unité de différence de température. Il exprime en $w/m^2 \cdot K$, plus le coefficient U est grand est plus la paroi transmet la chaleur. Il est l'inverse de la résistance thermique. Les déperditions thermiques d'une paroi sont directement proportionnelles au coefficient U .

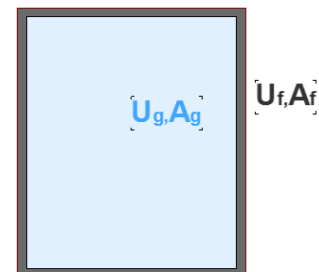
Selon la norme EN 410, Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre U_w se calcule à partir des valeurs moyennes des coefficients de transmission thermiques du vitrage et du cadre, pondérées par leurs surfaces respectives (Zürcher et Frank 2014, 292).

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f}{A_g + A_f}$$

$$U = \frac{1}{R}$$

R : résistance thermique,

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \text{(épaisseur)} \\ \text{(conductivité thermique)} \end{array}$$



U_w : coefficient de transmission thermique de la baie de fenêtre.

U_g : coefficient de transmission thermique du vitrage y compris la protection solaire.

A_g : surface du vitrage.

U_f : coefficient de transmission thermique du cadre.

A_f : surface du cadre.

II.14. Le coefficient de transmission thermique équivalent U_{eq} :

Le coefficient de transmission thermique équivalent U_{eq} est introduit par Hauser et Rouvel, peut évaluer le vitrage en tenant compte le réchauffement du local causé par l'intensité de rayonnement solaire (Schittich, et al. 2012).

Cette intensité solaire, dépend de l'**orientation** de la vitre, d'où, il y a pour chaque orientation, une valeur distincte d'apport d'énergie.

$$U_{eq} = U + (g \times S)$$

U : valeur U du vitrage. (Schittich, et al. 2012).

g : facteur solaire global

S : apport par rayonnement, dépend de l'orientation

Sud 2.4 w/m²k

Est/Ouest 1.8 w/m²k

Nord 1.2 w/m²k

L'équation montre d'une part, qu'une réduction de l'intensité de rayonnement, réduit la valeur U_{eq} et donc évite la surchauffe et d'autre part, un facteur solaire faible. Une réduction de la valeur **U** ne signifie pas toujours un affaiblissement de U_{eq} .

II.15. Le facteur minorant de protection solaire (f) :

C'est le rapport entre la quantité d'énergie transmise à travers le vitrage et la protection en associés g_{total} et le pourcentage d'énergie transmis à travers le vitrage seul g , lorsque la baie ne possède aucun système de protection, la valeur du facteur minorant (**f**) égale à 1. Plus la valeur du facteur minorant petite plus la quantité d'énergie transmise est petite, ainsi la protection est performante.

$$f = \frac{g_{total}}{g_{vitr}}$$

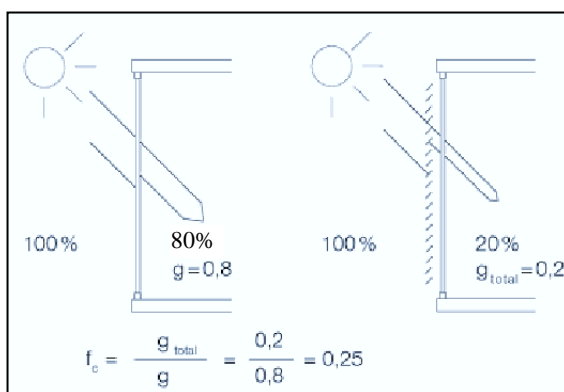


Figure II.43: à gauche : facteur minorant de protection, à droite : valeurs du facteur **f** pour différents systèmes de protection (source : Schittich, et al. 2012)

Système de protection solaire	f _c [%]
sans système de protection solaire	1,0
Placé à l'intérieur ou entre les vitres	
surface blanche/réfléchissante avec faible transparence	0,75
couleurs claires ou faible transparence	0,8
couleurs sombres ou transparence élevée	0,9
Placé à l'extérieur	
lamelles orientables, ventilation arrière	0,25
jalousies/textiles peu transparents, ventilation arrière	0,25
jalousies en général	0,4
volet roulant, volet coulissant	0,3
avant-toitures, loggias, lamelles indépendantes	0,5
stores ventilés en partie haute ou de façon latérale	0,4
stores en général	0,5

II.16. Le coefficient d'absorption du rayonnement solaire :

L'efficacité d'une protection solaire peut s'évaluer d'une manière approchée, à travers le coefficient d'absorption solaire, ce dernier est calculé en faisant le rapport entre la somme des apports thermiques dus au vitrage et la surface de sol de la pièce. L'apport thermique dû au vitrage est le **résultat** de la valeur **g** du vitrage multiplié au facteur minorant **f** (Hegger, et al. 2011, 98).

$$S = \frac{\sum(A_v \times g_{\text{total}})}{A_s}$$

Une valeur du coefficient d'absorption est petite, cela indique que la protection limite **mieux** le rayonnement d'atteindre l'intérieur du local.

S : coefficient d'absorption

A_v : surface de vitrage.

g_{total} : degré de transmission énergétique global du vitrage avec le système de protection,

$g_{\text{total}} = g \times f$.

A_s : surface au sol du local.

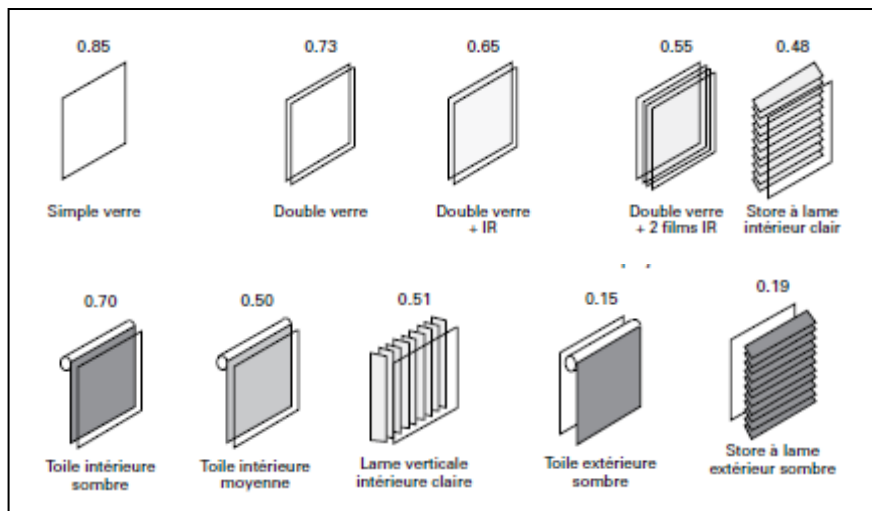


Figure II.44: valeurs typiques du coefficient **g_{total}** de l'association vitrage-protection mobile (source : Badoux, et al. 1996)

II.17. Facteur d'ombrage :

La position de vitrage dans l'épaisseur du mur est un facteur déterminant influe les apports thermiques, ce qui n'est pas le cas pour les apports d'éclairage. En effet, la profondeur de la fenêtre dans le mur permet de créer une zone ombrée sur la surface vitrée, en empêchant les radiations solaires directes d'atteindre le vitrage, ainsi de transmettre à l'intérieur.

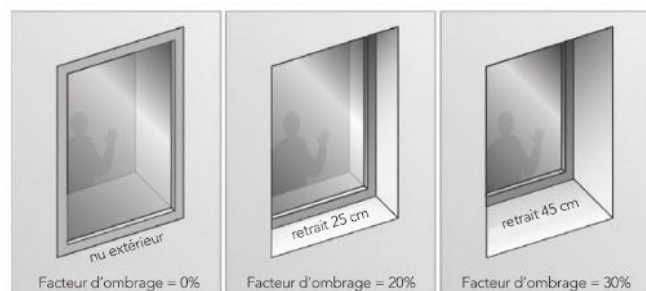


Figure II.45: facteur d'ombrage selon la position de la baie vitrée (120x150cm).
(Source : Mooser et al).

Conclusion :

Le présent chapitre nous a permis de faire un tour sur l'architecture de verre, l'utilisation de verre dans l'architecture solaire et les concepts qui ont guidé à son évolution. Aussi, nous avons exposé une analyse des différentes composantes de la baie vitrée et le rôle de chaque constituant dans le bilan thermique, ainsi les performances intérieures.

Au début, on a cité les paramètres thermiques et lumineux de composant de verre et leurs effets sur l'environnement intérieur. Ce constituant est un élément important qui remplit l'aire de la baie, la connaissance de ses caractéristiques au processus de la conception architecturale donne les choix préliminaires de son utilisation.

Ensuite, on a mis en exergue les fonctions et les types de la composante protection solaire, elle est un moyen de contrôle solaire. D'où les effets thermiques d'une fenêtre même avec une dimension importante, peuvent se modifier, dans le cas où un système de protection solaire efficace est composé avec le vitrage.

En somme, une enveloppe architecturale plus respectueuse de son environnement, nécessite une connaissance approfondie du climat et des caractéristiques locales. D'où, la fenêtre est une composante importante de l'enveloppe qui interagit avec la totalité des composants. Ses caractéristiques formelles et thermiques par apport à l'environnement extérieur jouent un rôle indispensable sur les ambiances intérieures. En fait, sur le plan thermique et énergétique, la dimension, l'orientation, l'inclinaison et la distribution des surfaces vitrées sur la façade sont des éléments décisifs dans la conception du projet.

Finalement, il s'agit de ne pas négliger les effets des ouvertures vitrées, particulièrement dans les immeubles où les façades sont fortement vitrées et dans un climat chaud et sec, sur les conditions thermiques et lumineuse à l'intérieur du bâtiment.

CHAPITRE III :
CAS D'ETUDE ET METHODOLOGIE
D'APPROCHE

Introduction

Le présent chapitre consiste à présenter le cas d'étude et la description de la méthodologie élaborée pour l'analyse. Au début on va d'abord, décrire le contexte où se situe notre cas d'étude, à l'aide d'une analyse qui sera faite en particulier d'un point de vue climatique et bioclimatique. En effet, la compréhension des paramètres climatiques spécifiques à ce contexte d'étude nous permettra de construire un support de recommandations architecturales préalables à la conception dans cet environnement. Alors, elle produit une architecture qui sera donc adaptée aux contraintes climatiques et par la suite répondra aux exigences de confort thermique. Notre contexte d'étude est la ville de Béchar, elle se situe de Sud-ouest du Sahara Algérien.

Ensuite, on expose également la description de la population d'étude, il s'agit de présenter certains immeubles de bureaux à Béchar issues de différentes périodes. Après cela, on procèdera à un échantillonnage en choisissant trois échantillons à *but d'usage*, reflètent les caractéristiques d'architecture des bâtiments à étudier dans notre recherche. Ces échantillons seront décrits d'une manière systématique appropriée à l'analyse conceptuelle, à savoir les types de bureaux, l'**orientation** des ouvertures, le **pourcentage** et le **type** de vitrage dans chaque bureau et les **systèmes de protection** des ouvertures.

Dans un second lieu, pour évaluer l'ambiance thermique chez les usagers dans l'espace intérieur il est nécessaire de bien développer une méthodologie de collecte de données. Donc, faire recueillir ces données avec des outils adéquats, appelle aussitôt le recours au modèle adopté pour notre recherche et au vu de revue de littérature présentée auparavant. A cet effet, nous allons adopter des techniques de recherche convenables pour chaque dimension liée au concept de confort thermique.

III.1 CONTEXTE D'ETUDE :

La ville de Bechar fait partie de la région de la **Saoura**, se situe au sud-ouest du Sahara algérien, à une latitude de 31.6° Nord et une longitude de -2.2° Ouest. Elle s'élève à une altitude de 772 m. elle a une superficie de 161.400 km².

Avant 1903 il n'y avait que le vieux ksar de Béchar qui date du XV siècles et le ksar d'Ouakda, à côté d'une palmeraie et au bord d'un Oued. Ce vieux ksar était lié au réseau ksourien par une piste caravanière qui menait les commerçants vers le ksar jusqu'à la place des chameaux.

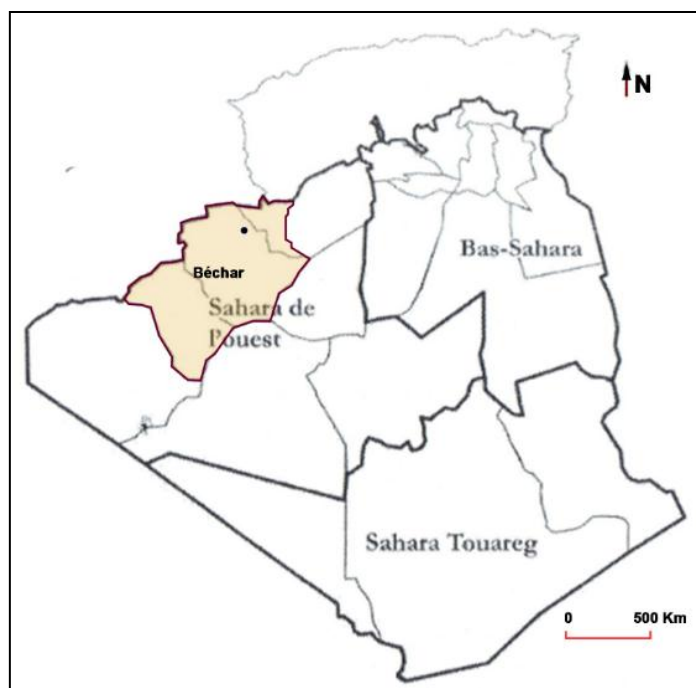


Figure III.1: Situation géographique de la wilaya de Béchar, dans le contexte Saharien (Source : Kouzmine, 2012, réadapté par l'auteur)

Bechar est limitée au nord par « Djebel Horeït » et au sud par Djebel « Oum El Graf, les grands éléments naturels du site sont :

1. Oued Béchar
2. Les montagnes appelées localement djebels, délimitant le site au nord et à l'est.
3. Une série de plateaux caillouteux au nord-ouest.
4. les deux Barga, Elgaâda et Sidi M'hamed

La ville de Bechar est le chef-lieu de wilaya, avec une daïra et une commune. Avec une superficie qui dépasse les 2600 Ha, elle ressemblait 165.000 habitants selon le RGPH 2008, dans un ensemble urbain qui s'étend d'Ouakda à Béchar Djedid.

III.1.1 Les zones climatiques du Sahara et Pré-Sahara Algérien :

Un pourcentage de 85% de la surface totale de l'Algérie couvre un climat de type chaud et sec. A. Ould Henia (2003) a subdivisé ce vaste espace en zones climatiques d'été et en zones climatiques d'hiver divisées à leur tour en trois zones.

Les zones climatiques d'été sont comme suivies :

La zone E3 (Présaharien et Tassili), ici les étés sont très chauds et très secs,

La zone E4 du Sahara, subit l'influence de la latitude, correspondant à des étés plus pénibles que ceux de (E3).

La zone E5 du Tanezrouft, elle subit l'influence de la latitude et c'est la plus chaude en Algérie.

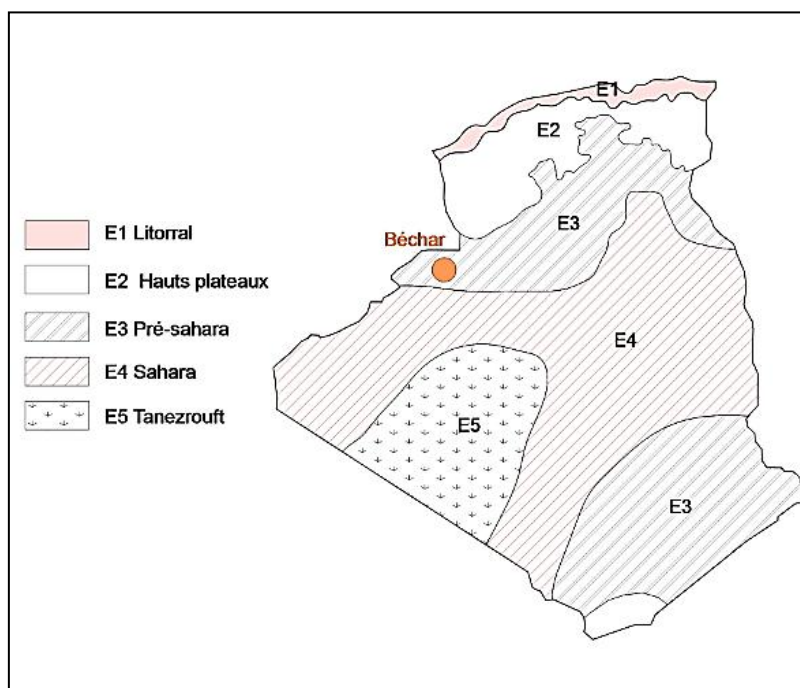


Figure III.2: Zone climatique d'été. (Source : Ould-Henia 2003, redessiné par l'auteur 2017)

Béchar est fait partie du climat de la zone E3 (Présaharien et Tassili), ce climat est très chaud et très sec.

Les zones climatiques d'hiver, subissent l'influence de la latitude et se divisent en trois :

- **La zone H3a** (Présaharien), d'altitude comprise entre 500 et 1000 mètres, est caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour.
- **La zone H3b** (Sahara), d'altitude comprise entre 200 et 500 mètres, possède des hivers sont moins froids que ceux de la zone H3a.
- **La zone H3c** (Hoggar), d'altitude supérieure à 500 mètres, possède des hivers rigoureux analogues à ceux de la zone H3a, mais qui persistent même durant le jour.

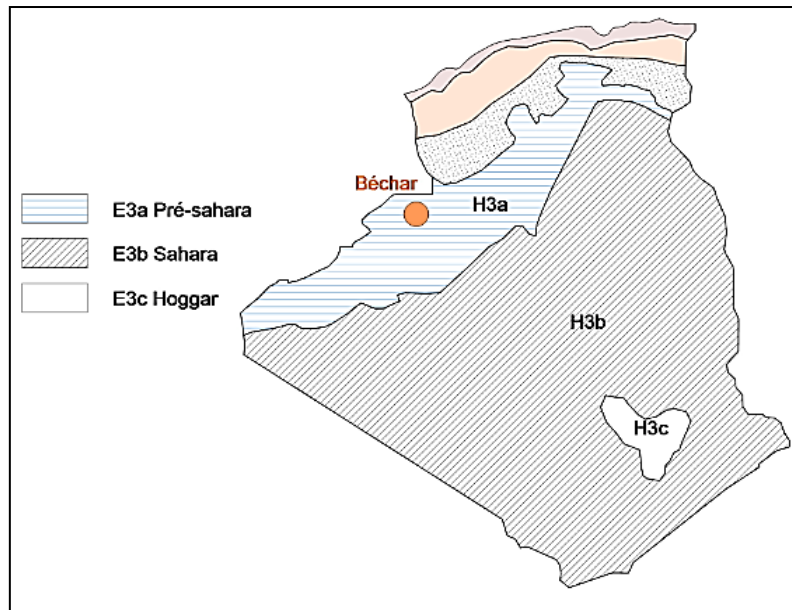


Figure III.3: Zone climatique d'hiver. (Source : Ould-Henia 2003, redessiner par l'auteur 2017)

Donc le contexte climatique d'hiver de la ville de Béchar fait partie de la zone H3a qui caractérise par un hiver très froid la nuit par rapport au jour.

Une détermination des zones climatiques du territoire Algérien selon S. Mazouz (2014) distingue la zone du Pré Sahara et Sahara Algérien comme indique le Tableau III.1 en dessous.

Zone D : Pré-Sahara et Sahara	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 34 ° 50` N à l'ouest à 35°N à l'est et la limite inférieure de 19° à l'est et à l'ouest.
Variations saisonnières	02 saisons, chaude et froide.
Température	T° Moy. Max : 45° et entre 20-30 en hiver variation saisonnière de 20° .L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids
Précipitation	Pluies rares, torrentielles par moments.
Humidité	Humidité réduite entre moins de 20% après midi à plus de 40% la nuit.
Conditions célestes et rayonnement	Ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après-midis. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol.
Végétation	Extrêmement clairsemée
Vents	Généralement locaux

Tableau III.1: Les caractéristiques climatiques de la zone D : Pré-Sahara et Sahara (Source : Mazouz, 2014)

III.1.2 Lecture bioclimatique de la ville de Béchar :

III.1.2.1 Microclimat de Béchar :

Le climat de Béchar est de type **désertique**¹, caractérisé par une atmosphère sèche en été (l'humidité relative ne dépasse pas 27%), avec des chaleurs très fortes (dépassent le 45 C°) et un hiver froid (une température qui descend à 4C° en janvier).

Les précipitations à Béchar sont très réduites et espacées. Elles sont fréquentes en mois de novembre où la quantité moyenne atteint 13mm. En plus leur rareté, elles viennent sous forme d'averses et ne durent pas longtemps.

Pendant les demi-saisons, les vents sont fréquents et parfois violents dans les périodes de vents (Avril à Aout) transportant de leurs directions du sable. Sa vitesse moyenne est de 24 à 32m/s avec un max de 52m/s.

Le rayonnement solaire direct est intense de l'ordre de **800 W/m2**/par jour sur un plan horizontal au mois de juillet, avec une durée de jour de 11 heures et 20 minutes. Dans ce mois le ciel est le plus clair recevant une fraction d'insolation de **88%**.

III.1.2.2 Application des diagrammes bioclimatiques :

Comme on a déjà montré, les diagrammes bioclimatiques permettent d'augmenter les conditions intérieures de confort grâce à une évaluation de la relation climat-confort-construction dans les premières étapes de la conception du bâtiment, ce que précisent également les règles de conception du bâtiment. Dans ce que se suit, on va appliquer trois procédés de diagramme bioclimatique sur le climat de la ville de Béchar.

	Jan	Févr.	Mars	Avril	Mais	Juin	Juill.	Aout	Sept	Oct.	Nove	Déc
Température												
Max	22,90	24,20	28,80	33,00	37,30	40,30	42,90	43,00	39,40	34,30	27,30	22,30
Min	4,30	6,11	10,40	14,80	19,30	23,60	28,00	27,00	22,20	16,50	9,60	4,60
Moy	14,50	16,30	21,40	26,40	31,40	34,00	37,20	36,50	33,00	27,10	20,90	14,70
Humidité Relative												
Max	78,62	75,46	58,33	54,62	46,68	41,28	30,78	35,58	55,24	71,36	74,02	79,46
Min	32,24	29,44	22,53	20,54	16,84	14,72	12,08	14,36	24,02	31,92	34,76	36,1
Moy	54,66	50,4	39,26	35,34	29,42	25,72	19,58	23,34	37,86	49,7	53,32	58,04

Tableau III.2: Données climatiques de la ville de Béchar période : (2006-2015)
(source: Wunderground, relevé de station météorologique Béchar)

III.1.2.3 Application Méthode Olgay :

D'après le diagramme les fluctuations journalières entre jour et nuit sont importantes, celles saisonnières sont très grandes, en se nuancant en saison chaude et autre froide. Peu de mois on les trouve dans la zone de confort, les plus marqués sont le mois la demi-journée de mois de septembre, le mois d'octobre, novembre et mars.

On analyse aussi, qu'il y a deux tendances ; la première est une aptitude vers le chauffage, la deuxième est tendance vers le refroidissement. Pour les deux mois janvier et février, l'augmentation de la température est nécessaire dans cette période pour atteindre un confort

¹ Ce climat est caractérisé par une période chaude à très chaude et une période froide. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants, les précipitations sont rares. (Liébard, et al., 2005, p115a).

naturel, d'où une quantité des gains solaire est importante (dépassé 87 w de radiation) pour obtenir ce confort.

Dans la période de mois de juin, juillet et aout, une augmentation de la vitesse de l'air avec l'humidité est indispensable pour abaisser la température. Le refroidissement par évaporation est une solution efficace pour le confort dans ces mois. En septembre, la ventilation est nécessaire.

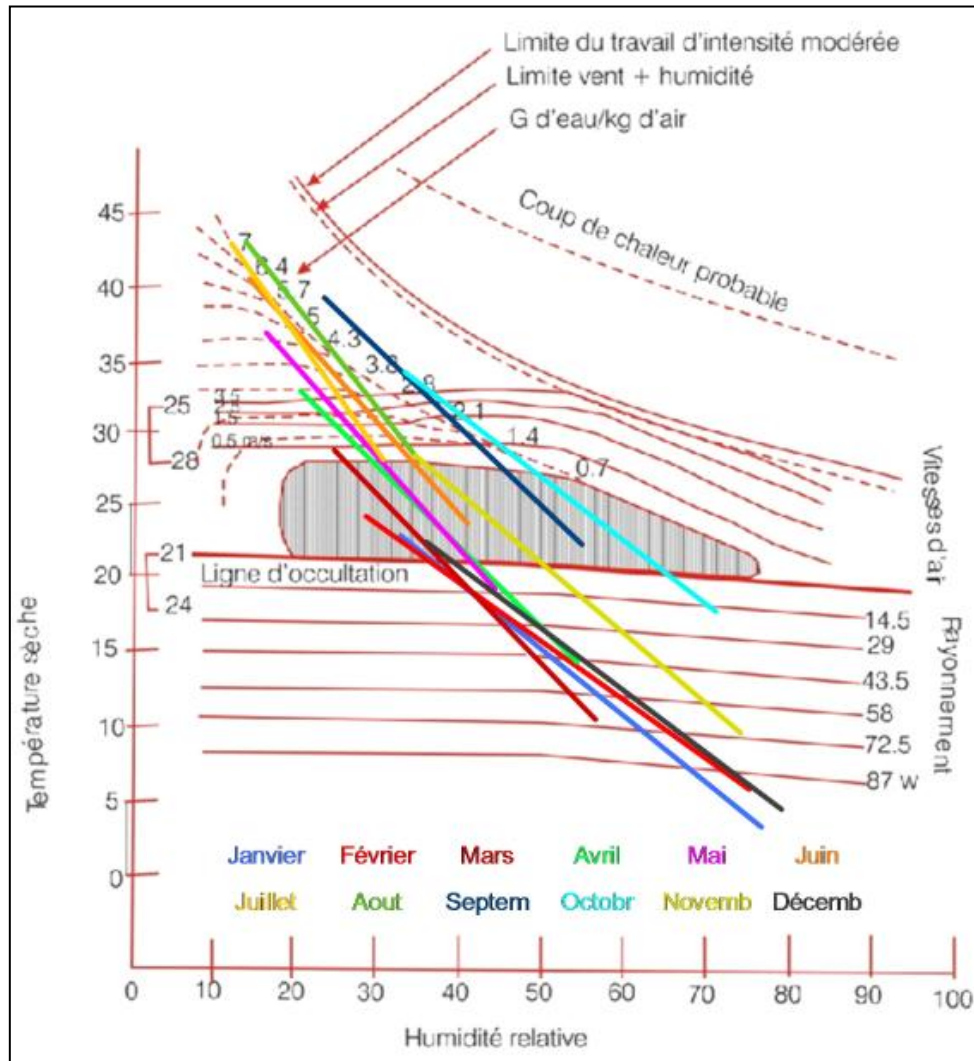


Figure III.4: Application du Diagramme de Olgyay pour la ville Béchar
Redessiné par S. Mazouz.

III.1.2.4 Application méthode Givoni :

En remarque sur ce diagramme psychrométrique de Givoni, que pendant les mois de mars, avril, octobre et novembre, un certain confort est atteint dans ces périodes de l'année. D'où, pour réintégrer la zone de confort il faut une 'utilisation de l'inertie thermique avec une ventilation naturelle dans le mois de mai, septembre et octobre pour satisfaire le besoin de refroidissement.

Et pour satisfaire les besoins de chauffage, une solution passive (serre) suffit pour ré atteindre le confort dans les mois de mars et novembre. Pour les périodes froides, janvier et février, l'emploi des systèmes actifs (captage de l'énergie solaire et sa distribution par pompe ou ventilation) pour le chauffage est nécessaire pour atteindre le confort dans périodes. En ce qui concerne les périodes les plus chaudes de l'année, juin, juillet et aout, les solutions architecturales nécessaires pour réintégrer les conditions de confort sont : l'utilisation d'une grande masse thermique associée avec une ventilation nocturne ainsi que le refroidissement par évaporation et ventilation naturelle.

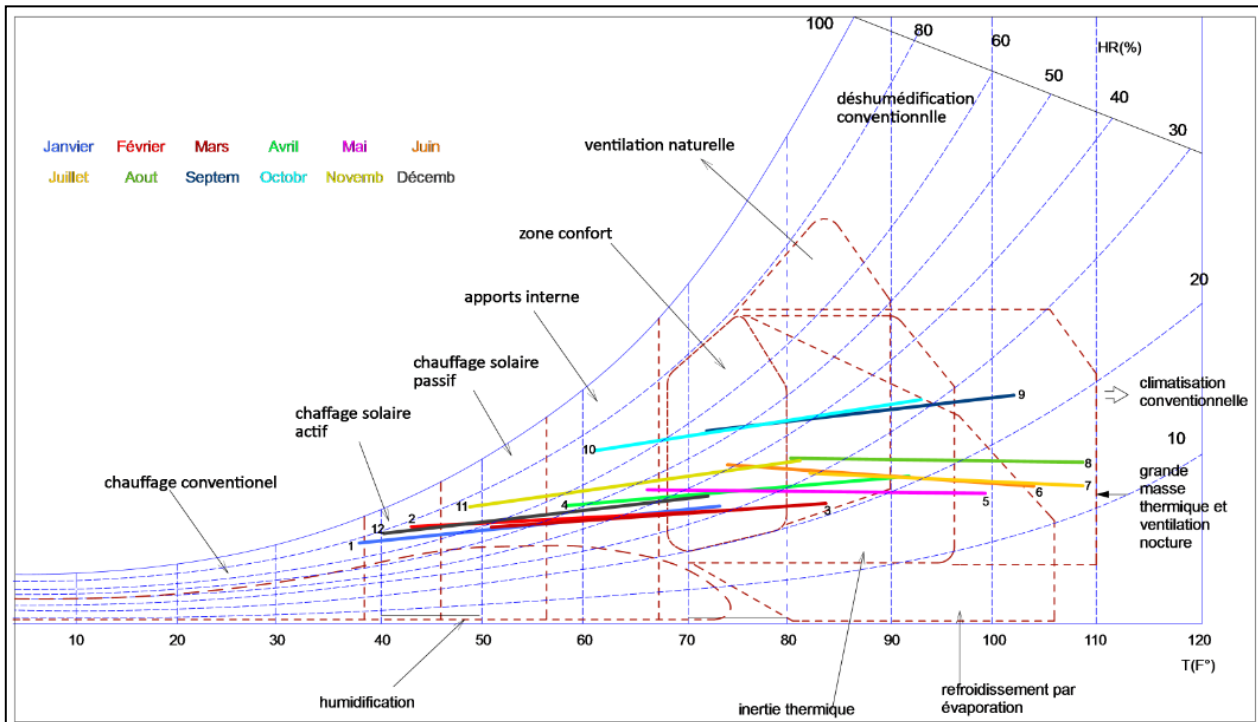


Figure III.5: Application du Diagramme de Givoni pour la ville de Béchar (Source : Auteur, 2016)

III.1.2.5 Les tables de Mahoney :

Suite au diagnostic a été fait par les tables de Mahoney sur l'état climatique de la ville de Béchar (Voir les tableaux en Annexes), on a obtenu les résultats en forme des recommandations architecturales que viennent comme suit :

- Plan de masse de bâtiment compact avec des cours intérieurs.
- Espacement entre les bâtiments, compacts.
- La Circulation de l'air inutile pendant le jour.
- Conception des ouvertures en dimension réduites, 15 à 25% de la surface des murs.
- La Construction massive des murs, avec un décalage horaire supérieur à 08 heures.
- La Construction massive des planchers.
- Prévoir des emplacements pour le sommeil en plein air (terrasse).

III.1.2.6 Synthèse :

En conclusion, on peut distinguer deux saisons dominantes, qui sont comme suit :

La première période chaude et longue, s'étale depuis le mois de mai 'jusqu'à septembre. Elle se caractérise par des températures plus élevées dépassant en moyenne les 27C°. Cependant, les plus hautes sont enregistrées dans les deux mois les plus chauds de l'année, juillet et Aout, où il fait en journée entre 39C° et 45C°. Dans cette période l'inconfort est beaucoup ressenti. Pour cette cause, une grande partie de consommation électrique est utilisée pour satisfaire les besoins de confort en été.

La deuxième période est froide, sa durée est courte s'étendant de décembre à février, avec des températures moyennes basses. Par ailleurs, dans les mois de janvier et février qui sont les plus froids, la température moyenne mensuelle est de 8.8C° et celle minimale atteint le 3.8C°.

A partir cette lecture du climat de la ville de Béchar, hormis une partie des mois d'octobre, novembre, avril et mai, il est clair que la grande période de l'année offre des conditions de confort défavorables. En effet, une longue période de surchauffe avec une atmosphère sèche et un hiver froid, provoquent une forte sensation de l'inconfort thermique pour les occupants. Eh bien, ces éléments naturels doivent être des paramètres déterminants dans les conceptions urbaines et architecturales dans ce contexte.

III.2 POPULATION D'ETUDE :

III.2.1 L'architecture des immeubles de bureau, l'espace bureau :

Le secteur tertiaire avait l'essor dans les années soixante, en développant d'une manière massive et croissante des espaces de travail, ces espaces appelés communément les bureaux. C'est le lieu où travaillent les employés d'une entreprise, administration et qui disposent d'un mobilier ; tables, armoires, bibliothèques...et des équipements (Garreau, et al., 2009).

Selon Fisher (1997), le bureau est défini comme étant l'espace de travail distinct de celui habité, où il est demandé à l'utilisateur d'effectuer une activité et des tâches prescrites. C'est l'environnement physique qui constitue de parois (murs, sol et plafonds) et réservé pour l'accomplissement des tâches administratives et au traitement des documents.

L'immeuble de bureau est un bâtiment aménagé en bureau, assurant au public des services administratifs, commerciaux.

Cet environnement physique, conçu pour le travail des employés, influe sur la manière dont ils exercent les activités, leur motivation, leur satisfaction ou insatisfaction et leur confort.

L'aménagement de l'espace de travail peut se faire selon quatre modèles :

1. . Le bureau cloisonné (closed office) :

Un espace limité par des parois, sa surface est petite et se varie suivant le rang et le statut professionnel. Il est destiné pour l'accomplissement des tâches qui nécessitent une concentration.

2. Le bureau semi cloisonné :

C'est un type de bureau qui combine le bureau fermé et le bureau ouvert, grâce au système de séparations de mobilier dits « panel system ». Ce qui le donne une flexibilité et une mobilité. Sa surface est grande.

3. Le bureau ouvert / Open space :

C'est une grande espace de forme d'un atelier, aménagé d'une manière où tous les postes des employés sont vidés de toute sorte de différenciation fixe. Il a pour raison la fluidité et la transparence dans la circulation de l'information et de la communication. Il recouvre le travail collectif de type répétitif.



Figure III.6: bureau ouvert (Johnson Wax Company), F.L.Wright(1936). (Source :Pélerin-Genel, 2006)

4. Le bureau paysager / Office landscape

Il a été créé suite à l'évolution de bureau ouvert. C'est un type de bureau de grande dimension se caractérise par les zones de travail aménagé par des plantes, végétaux et mobilier, ce qui offre un paysage à l'intérieur. Il s'agit d'un espace flexible et transparent, rien ne gêne la circulation et l'échange de l'information.



Figure III.7: Bureau paysager (1960). (Source : Pélerin-Genel, 2006)

III.2.2 Critères de choix des immeubles de bureaux contemporains :

Les espaces de bureaux ont été choisis comme objet d'étude en recherche du confort thermique pour les raisons suivantes :

- C'est un espace architectural en climat chaud où le confort thermique est une exigence indispensable pour un bon accomplissement des activités.
- Les employés passent quotidiennement à l'intérieur de ces immeubles un temps important.
- C'est un secteur où la consommation de l'énergie électrique est plus grande.
- L'architecture des immeubles de bureaux de l'époque contemporaine, se caractérisent par les grandes surfaces vitrées, en effet ce type de construction est antinomique avec le climat saharien et diffère de l'architecture et style locaux.
- Une croissance typique de la quasi-totalité de ce type des immeubles à l'échelle nationale.
- Ces espaces connaissent souvent carences d'ordre environnemental, malgré les développements qu'a connus ce secteur dans sa conception. (Vischer, 1989).

III.2.3 Les immeubles de bureaux à Béchar :

La ville Béchar est devenue un centre administratif et militaire, à partir des années 1950, date à partir de laquelle de nouveaux ensembles et quartiers urbains commencèrent à se développer, comme *la Barga* et la cité SELIS. A cette époque, des équipements publics commençaient à se regrouper. Ces équipements couvraient divers secteurs tels que l'éducation, la culture, le commerce, l'administration et les télécommunications. Après l'indépendance et vu du développement de la population urbaine, de nouveaux bâtiments administratifs ont été créés comme le siège de L'APC et l'hôtel des finances. Ensuite, et à partir des années 2002, l'Etat voulait implanter de nouveaux sièges pour quelques équipements, pour répondre à la demande administrative croissante de la wilaya. Ces bâtiments se caractérisent par l'utilisation de grandes surfaces vitrées.

Donc, on peut classer les bâtiments administratifs selon les périodes historiques en trois types :

1. Bâtiments hérités de **la période coloniale** : la poste de la ville, la direction des impôts.
2. Bâtiments issus de **la période post-coloniale** :

On peut citer : le siège de l'APC, l'hôtel de finance, direction de SONALGAZ, le siège d'hydraulique, le siège de la COCOBAT, le siège de la Wilaya.

3. Bâtiments **contemporains** :

Ce sont les édifices publics qui ont été construits à partir des années 2002, on cite : la DL (direction de logement), la caisse de retraités, la DEP (équipement publics), la DUAC (direction d'urbanisme, d'architecture et de construction), le siège de Tourisme, la DTP (direction de travaux publics).

Notre recherche s'intéresse aux bâtiments contemporains qui se caractérisent par façades fortement vitrées comme le siège de Tourisme, la DTP (travaux publics) et la DUAC (urbanisme, architecture et construction). la sélection revient aussi que ce sont les premiers bâtiments administratifs contemporains (façade vitrée) qui ont été construits à Béchar.

Nous présentons dans ce que suit, des modèles de bâtiments respectifs pour chaque période citée ci-dessus.

III.2.3.1 Période coloniale :

III.2.3.1.1 La poste des affaires :

Implanté dans l'ex-village européen à l'époque colonial (centre-ville actuel), le bâtiment est orienté Sud-ouest Nord-est. Il a une forme rectangulaire avec une organisation de plan centrée, en fait, autour d'un espace central, s'organisent les espaces de bureau.

Une partie de l'édifice orienté Sud-ouest avec une coupole de 11.40m du haut du sol couvre le hall d'accueil, elle permet le renouvellement de l'air intérieur. la deuxième partie de l'édifice avec un étage, comporte les différents bureaux se services.

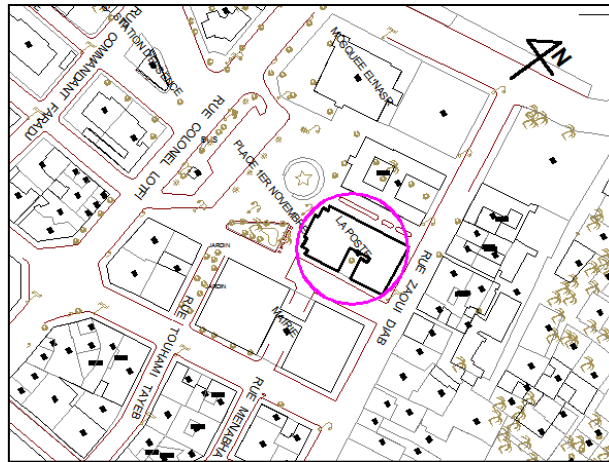


Figure III.8 : Situation et la façade principale de l'immeuble (source : Auteur, 2016)

L'entrée principale donne sur le côté Ouest est remarquable par un ensemble d'arcades (style néo mauresque) qui crée un espace tampon entre l'extérieur et l'intérieur et garantit une protection contre le rayonnement solaire.

La majorité des ouvertures donnant sur les façades Nord-ouest et Nord-est, ces fenêtres offrent la lumière aux espaces bureaux. Elles sont protégées par des auvents en bois et des volets roulants. La façade Sud-est comporte peu d'ouvertures de petites dimensions.



Figure III.9 : en haut: photo ancienne du bâtiment la poste des affaires.(source : ebay.fr n ligne).

En bas : photo nouvelle de la façade principale. (Source : auteur, 2017)



La façade Sud-est



La façade Nord-est de l'immeuble avec son accès.

Figure III.12: les services d'impôts 1^{er} novembre Béchar. Les deux façades de style classique.
(Source : Auteur, 2017)

Les bureaux sont distribués suivant un plan d'organisation linéaire, deux couloirs permettent de desservir les différents espaces bureaux. Ces derniers, donnent directement vers l'extérieur, le nombre total est de vingt et un bureaux avec un taux d'occupation de 2 personnes, et peut aller jusqu'à 3 personnes.



Figure III.13: le service d'impôts 1er novembre, Béchar, plan RDC et étage
(Source : Auteur, 2017 relevé).

La surface moyenne des bureaux est égale à 16 m² et leur forme est rectangulaire. Chaque bureau est éclairé par des fenêtres à vitrage simple d'épaisseur 4mm positionnées verticalement et protégées par des volets permettant aux occupants le contrôle des rayonnements solaires.

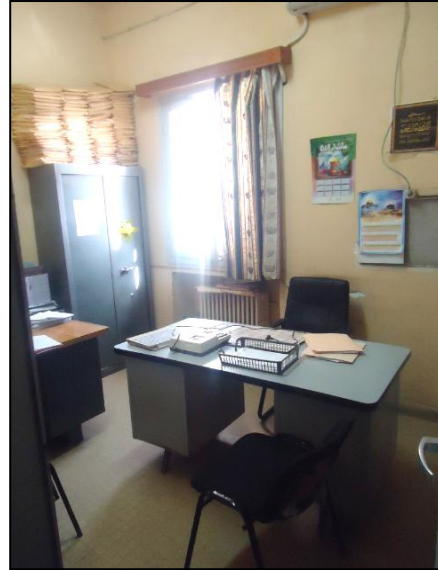


Figure III.14: vues intérieures d'espace bureau (source : Auteur, 2017)

Les fenêtres ont deux dimensions, celles sur le RDC sont de 2.00×1.30 , sur l'étage sont de 1.50×1.30 . Leur menuiserie est en bois et s'ouvrent à la française. Des volets en bois sont installés à l'extérieur pour les protections des rayons solaires, en plus un claustrât en béton (auvent plus flanc) de dimension de 10 cm d'épaisseur disposés autour de ces fenêtres, afin de porter l'ombre sur le vitrage.

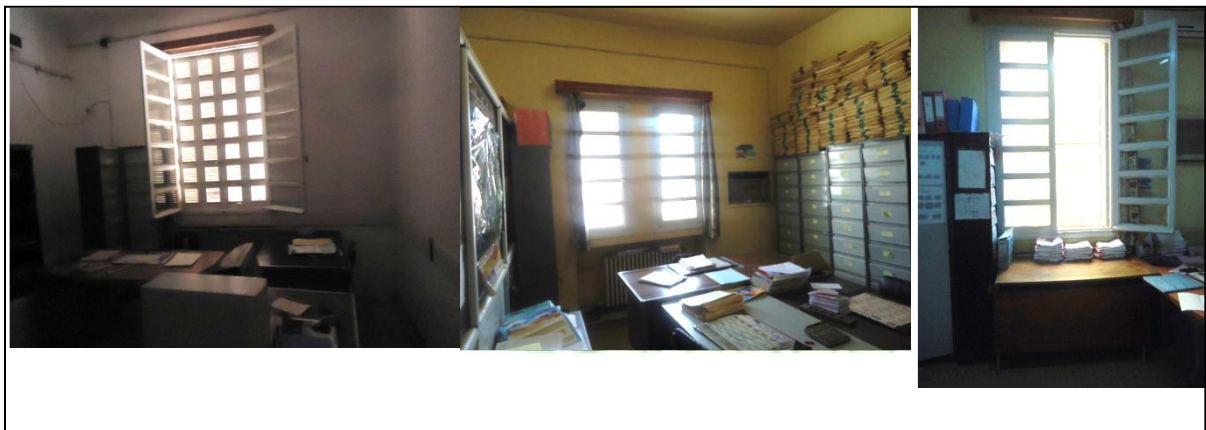


Figure III.15: les types de fenêtres de bureaux, en RDC et étage (source, Auteur, 2017)

III.2.3.2 La période Post-coloniale :

III.2.3.2.1 L'hôtel de la ville, (APC) :

Le bâtiment se situe dans le centre-ville (ex-village européen à l'époque coloniale), ce dernier, est un fragment de tissu urbain qui présente un bâti de type planaire sous forme d'îlots, obéit à la trame viaire maillée. L'édifice est construit dans les années 1965, et orienté Nord- Sud, le RDC est relié avec les deux étages par un escalier qui se trouve au milieu d'un hall central, celui-ci est éclairé par un éclairage zénithal.

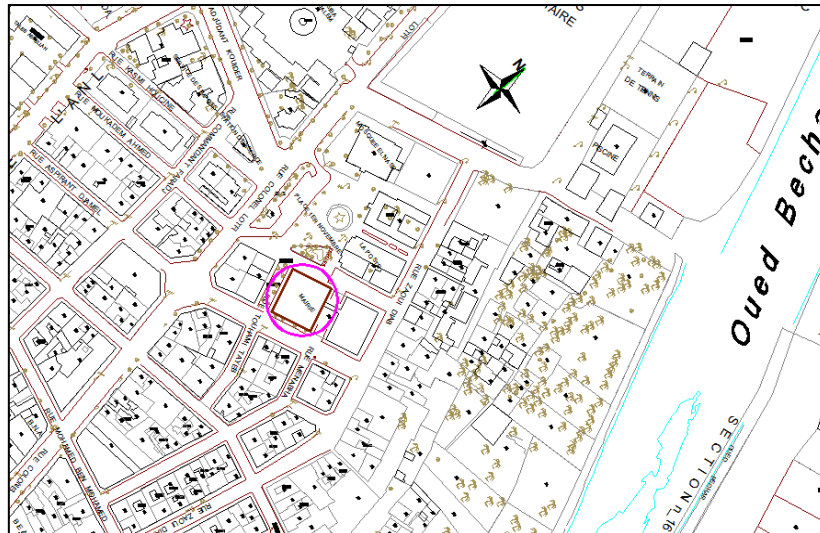


Figure III.16: plan de situation du siège de l'APC Béchar (source : Auteur, 2017).



Figure III.17: vue sur la façade principale (APC). (Source : Auteur, 2017).

Organisation spatiale et baies :

La forme de l'enveloppe est proche d'un carré et occupe une surface de 624 m², l'organisation du plan est centrée, les espaces de bureaux se réparties autour d'un hall central dans les trois niveaux du bâtiment. Les bureaux du siège de l'APC, donnant sur les quatre directions, par des fenêtres et portes fenêtres, leur nombre total est quarante-neuf, leurs surfaces varient entre 15 et 20 m². Le taux d'occupation des espaces, varie avec l'activité, il est d'ordre 2 à 3 personnes dans chaque bureau.

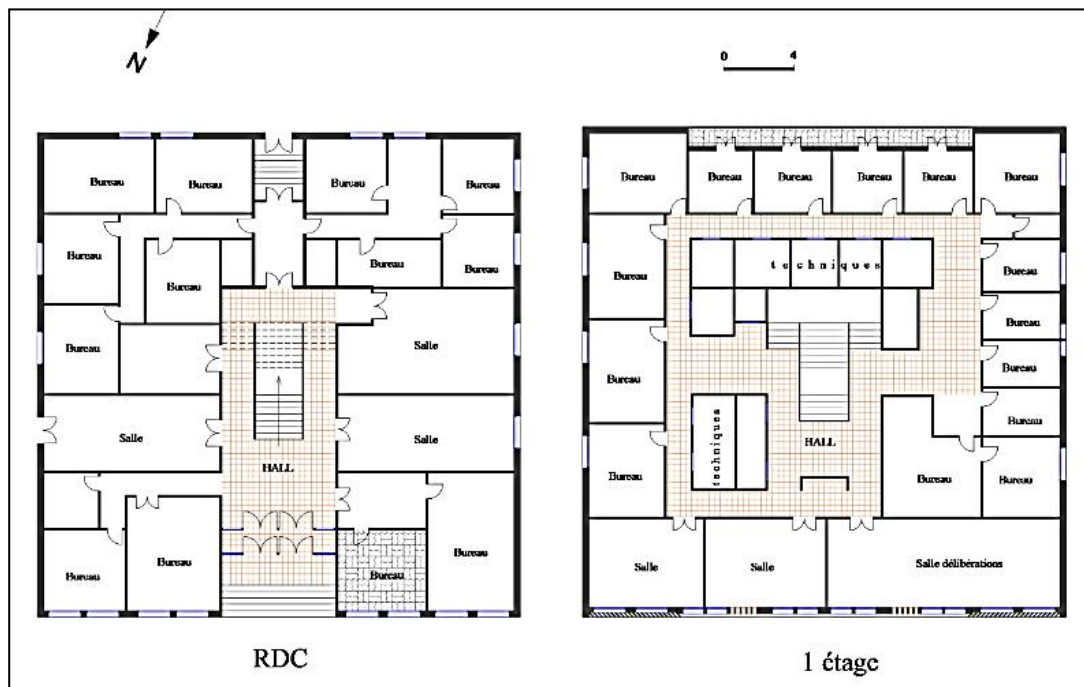
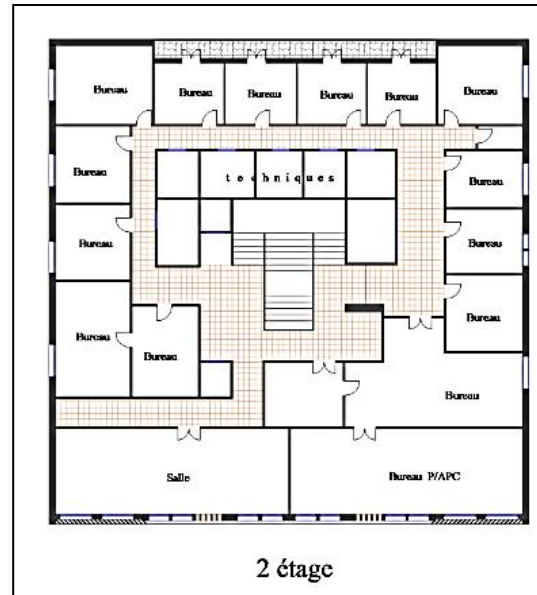


Figure III.18:Plans RDC et étages du siège de l'APC. (Source ; Auteur, 2017, relevé).

Chaque bureau possède des baies de fenêtres en bois de forme longue et horizontale, qui s'ouvrent à la française, et ont des surfaces différentes qui peuvent aller de 2.30 m² à 1.96 m², orientées dans les quatre directions. La protection des vitrages se fait par des volets extérieurs en bois, un recul dans la façade sud se réalise par des balcons servant auvent protège les bureaux orientés sud des rayons solaires. Sur la façade principale, des lames verticales en béton, protègent les ouvertures des bureaux.



Figure III.19: vues intérieures sur les espaces bureaux. (Source : auteur, 2017).



Figure III.20 : les différents systèmes utilisés de protections des ouvertures (siège APC), (Source : auteur, 2017).

III.2.3.3 Période de contemporaine :

III.2.3.3.1 Le siège de direction des équipements publics :

Situation : Le siège de la DEP de Bechar (direction des équipements publics) daté de 2012, est implanté dans un tissu qui s'organise suivant une orientation nord-sud à l'extrémité sud-ouest de la ville (quartier Barga). Le bâtiment est orienté suivant un axe Est-ouest.

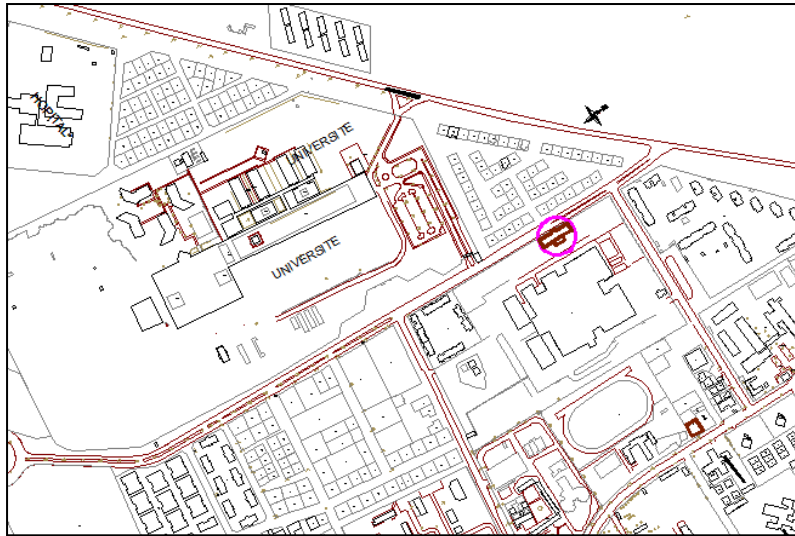


Figure III.21: Plan de situation DEP (source : auteur, 2017)

Organisation spatiale et baies :

Le siège de la mairie occupe un îlot de forme rectangulaire de 46 m x 12m avec deux niveaux. L'organisation du plan est linéaire, la distribution des bureaux se fait à partir d'un couloir, suivant un axe transversal.

A cet effet, deux groupes de bureaux se trouvent suivant leur orientation, une partie est donnée sur la façade Ouest, et la deuxième donne sur la façade Est.

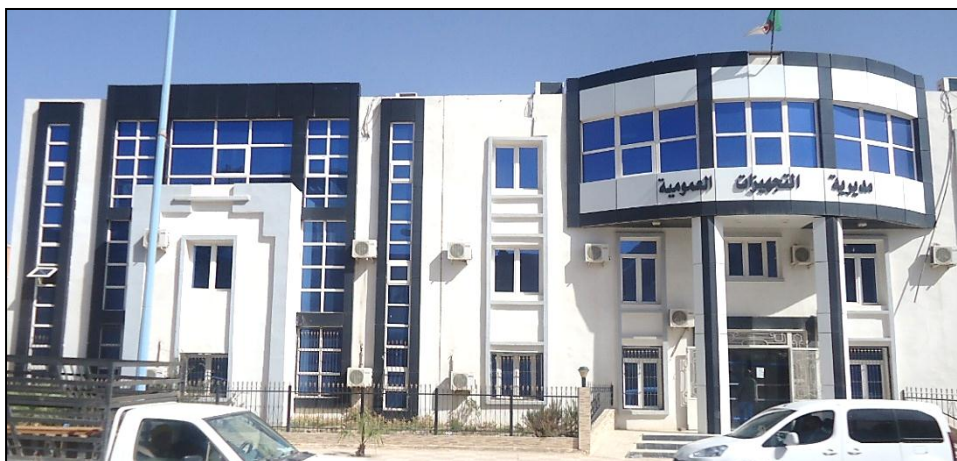


Figure III.22: façade principale de la DEP Béchar. (Source, auteur.2017)

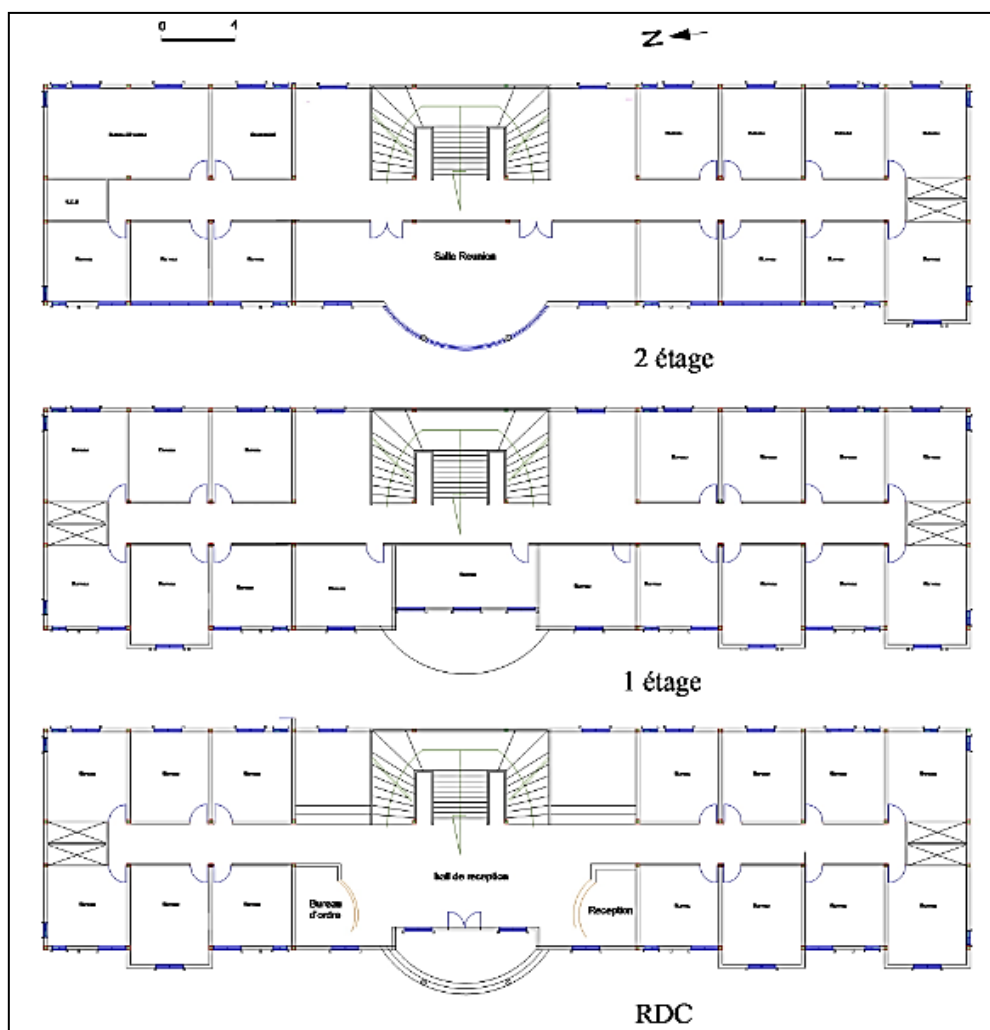


Figure III.23: plans de la DEP Béchar (source : auteur, 2017, relevé)

Le nombre total des bureaux est quarante-cinq, les surfaces des bureaux varient entre 15 et 17 m² avec un taux d'occupation qui varie avec l'activité ; il est de 2 à 3 personnes en moyenne. Chaque bureau possède des baies de fenêtres en aluminium de forme longue et verticale, qui ont des surfaces différentes pouvant aller de 3,8 m² jusqu'à 5 m², orientées dans les deux directions est et ouest. Le seul moyen pour la protection des vitrages sont des rideaux placés à l'intérieur.

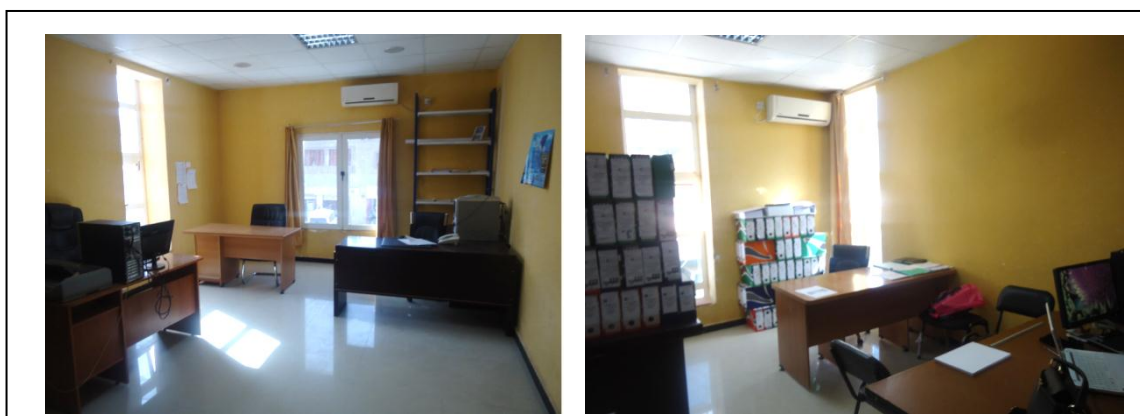


Figure III.24 : vues intérieures d'espace bureau et baies (DEP).(source : auteur, 2017)

III.2.3.3.2 La direction de logement :

Le bâtiment direction du logement est construit en 2002, dans le quartier *El Barga* implanté suivant une orientation Est Ouest, la forme d'enveloppe est un carré. Il comprend un RDC et un étage qui comprend l'ensemble de bureaux de la direction.



Figure III.25: Plan de situation et la façade principale, direction du logement Béchar
(Source : auteur, 2016).

Le plan est organisé suivant un plan centré, un hall central permet à la distribution aux différents bureaux, au cœur du hall un escalier hélicoïdal relie le RDC et l'étage. Le nombre total des bureaux est de vingt-cinq, occupé par 2 jusqu'à 3 personnes en moyen. Leur forme est rectangulaire en majorité avec une surface varie entre 16m² et 17m².

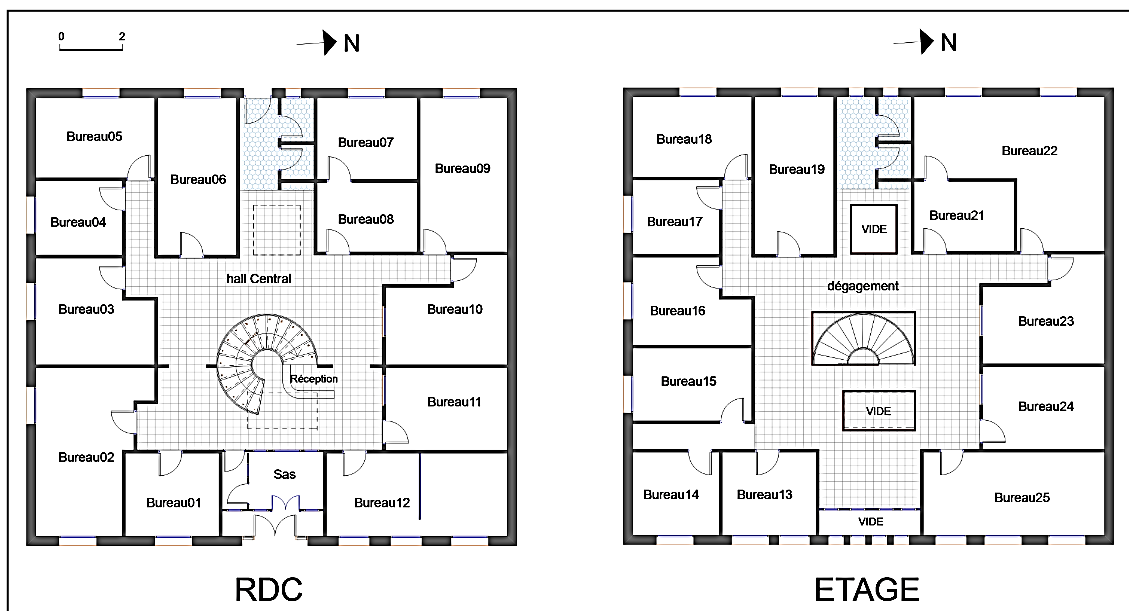


Figure III.26: plan de RDC, étage du bâtiment service logement Béchar
(Source : Auteur, 2016, relevé).

Les bureaux sont dotés de baies de fenêtres en bois de dimensions 1.50x1.20m, s'ouvrant à la française et donnant sur les façades Est, Ouest et Sud. Le type de vitrage utilisé est de simple vitrage d'épaisseur de 3mm. Aucune protection mobile ou fixe équipée sur les fenêtres, les occupants utilisent dans certain cas, du papier sur le vitrage afin de limiter la pénétration du rayon solaire.

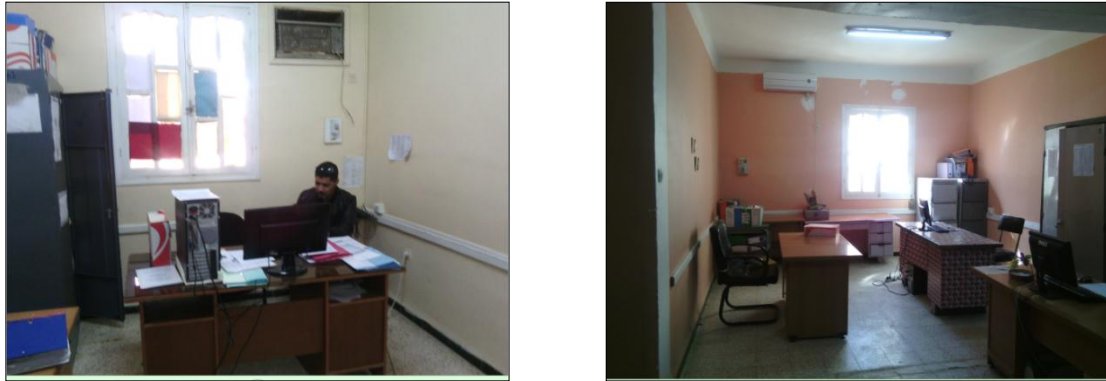


Figure III.27: vues intérieures d'espace bureau. (Source : Auteur, 2016)

Les autres immeubles de bureaux contemporains à grandes baies vitrées à Béchar.



- a:** Annexes Finances.
- b:** BNA(Debdaba).
- c :** direction de l'emploi.
- d :** Centre des impôts.
- e :** siège de l'académie.

(Source : Auteur, 2016)

III.3 ECHANTILLON D'ETUDE :

Notre échantillon d'étude est le siège de la DTP, de la DUAC et du Tourisme et d'Artisanat, Ils ont été choisis pour leur architecture caractéristique des immeubles de bureaux contemporains : grandes surfaces vitrées pour les façades. D'ailleurs, ce sont les premiers bâtiments qui ont été construits à Béchar. En ajoutant que, la durée d'occupation de ces immeubles par les employés est entre cinq et sept ans.

III.3.1 Le premier cas d'étude : le bâtiment du siège de Tourisme et d'artisanat :

La direction du Tourisme est datée de l'époque contemporain, elle est construite en 2013 pour abriter les activités de l'artisanat et de tourisme de la région. Cet édifice est implanté dans un fragment de tissu urbain qui était né dans les années 1990, et qui s'agit des lotissements communaux.

Le bâtiment édifié dans un angle de deux routes, son volume composé d'une partie de forme demi circulaire obéit au tracée viaire orienté Sud-est et une partie rectangulaire orienté Sud-ouest. Sa surface sur le sol est de **635m²** construit sur un RDC et un étage.

Le système constructif de l'immeuble est en béton armé, d'une structure poteau-poutre, le plancher en corps creux, les murs de séparation intérieurs et extérieurs sont en parping. la façade principale du bâtiment, se caractérise par un revêtement total en panneaux vitrage du RDC jusqu'à le l'étage. Ces plaques de vitres sont enfilées dans une structure légère en aluminium d'une trame régulière. Le vitrage est **double d'épaisseur de 4/9/4mm**.

La façade orientée Sud-ouest a des ouvertures vitrées identiques de dimension 195x135m. Ces baies sont réalisées avec une menuiserie en aluminium de 7 cm d'épaisseur qui supporte un vitrage simple **de 6mm** d'épaisseur.

Il n'existe aucune protection extérieure des ouvertures vitrées contre le rayonnement solaire.

L'organisation spatiale de plan est linéaire, les bureaux sont répartis en alignement suivant deux couloirs, la majorité donnent sur les façades extérieures.

Le nombre total de ces bureaux est quarante, ils localisent sur le RDC et à l'étage, leurs surfaces varient entre 12 et 26 m² avec un taux d'occupation de 2 à 3 personnes.



Figure III.28: Situation du bâtiment tourisme. (Source : Google earth).

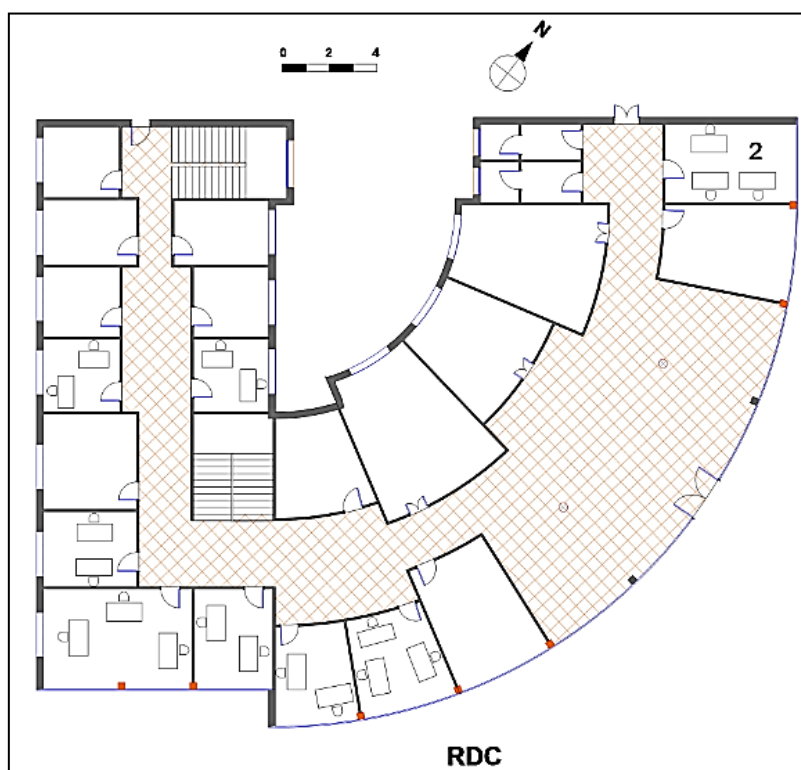
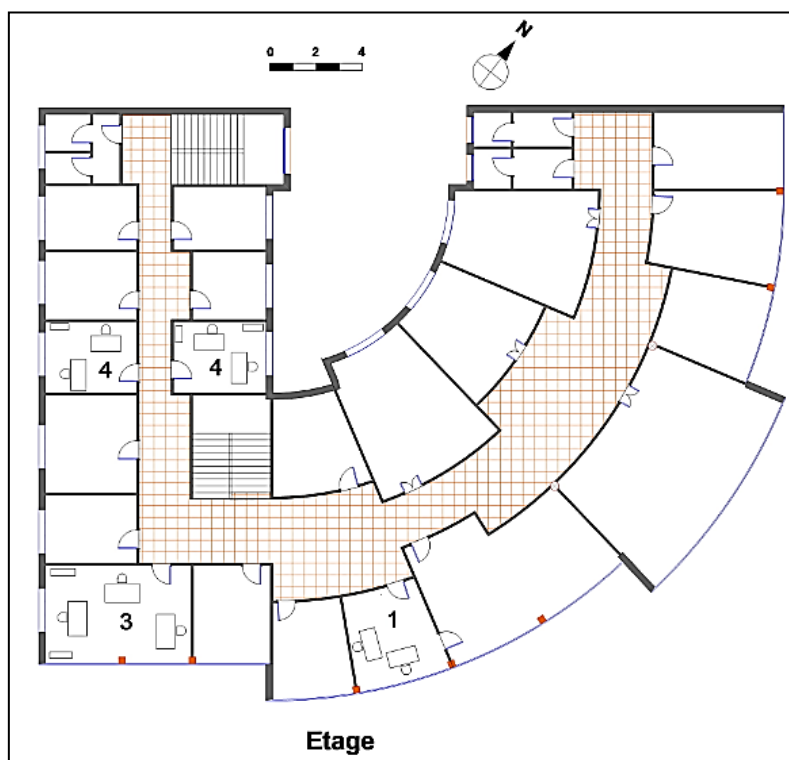


Figure III.29 : Plans du siège de Tourisme et de l'artisanat (Source : BET Architech, redessiné par l'auteur, 2017)



Figure III.30: la façade principale Sud-est du Bâtiment Tourisme. (Source Auteur, 2016)

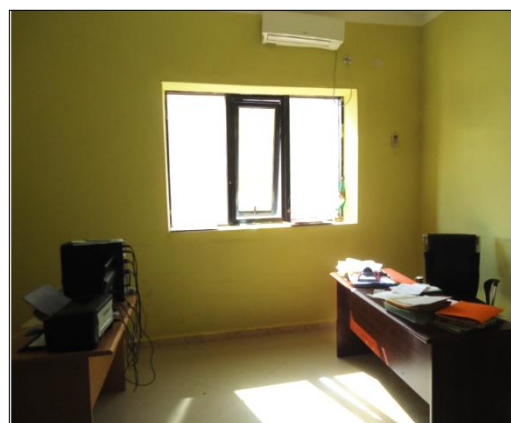
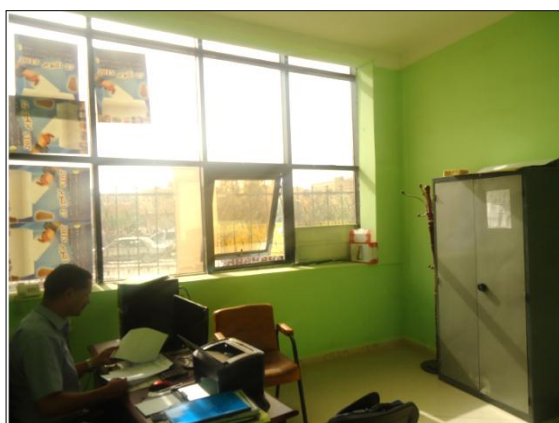


Figure III.31: Typologie des ouvertures vitrées, bâtiment tourisme (source auteur, 2016).

III.3.2 Deuxième cas d'étude : Direction des travaux publics (DTP) :

L'immeuble DTP se situe dans un tissu qu'est développé du côté l'ouest du village européen à partir des années 1962, le quartier appelé aujourd'hui le *Berga*, ce bâtiment est construit en 2010, occupe une surface de 670m², constitue d'un RDC et un étage. Sa forme est en **L** orientée Est et Sud. La structure est en béton armé, les parois sont en parpaing et le plancher est en corps creux.

Organisation spatiale et baies :

L'organisation du plan est linéaire, les bureaux sont distribués suivant des couloirs linaires en RDC comme étage. Son nombre total est de quarante-cinq d'une surface qui varie entre 12 et 16m² et un taux d'occupation qui vade2 à quatre personnes.

Ces bureaux possèdent deux types des baies, une partie des fenêtres de dimension de 150x1.10m, en donnant sur la façade principale et postérieure du bâtiment. Il comporte des stores à lamelles intérieures.

Le deuxième type d'ouverture est de dimension 4.20x2.20m orientées Sud-est, possèdent des rideaux intérieurs. Ces ouvertures sont les baies des bureaux qui se trouvent dans un hémicycle.

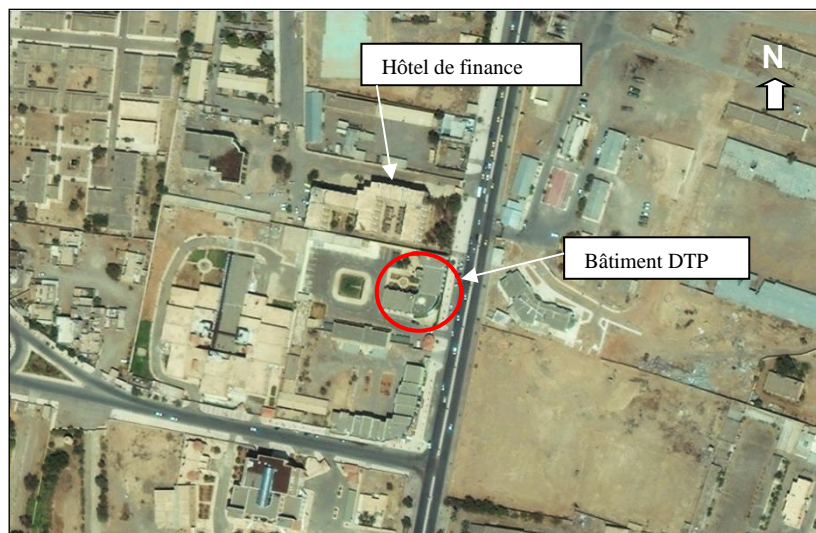


Figure III.32:situation du bâtiment DTP. (source : Google earth).



Figure III.33: façade principale du bâtiment DTP.(source auteur, 2016).



Figure III.34 : plans RDC et étage du siège de la DTP : (source : BET Bessadette)

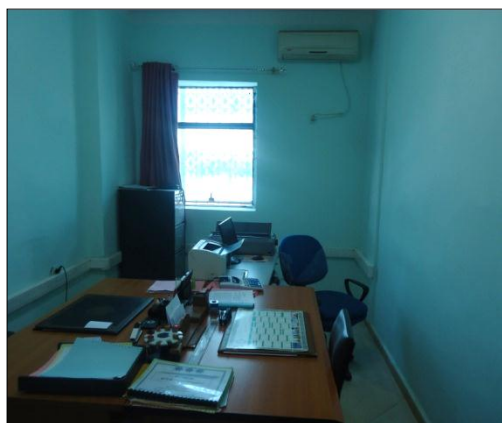


Figure III.35: les différents types des baies dans le bâtiment DTP. (Source auteur, 2016)

III.3.3 Troisième Cas d'étude : la direction d'urbanisme, d'architecture et de la construction. (DUAC).

Le bâtiment DUAC est se situe à proximité du siège de la DTP, dans la cité Braga, construit en 2009. C'est le premier bâtiment qui était édifié en Béchar qui représente cette architecture contemporaine, où des grandes surfaces vitrées ont été utilisé pour la première fois dans les immeubles de bureaux.

Il a une forme en **L**, résulte suite à l'intersection de deux rectangles, le premier implanté suivant l'orientation Sud, le deuxième est en Est. La surface totale de l'édifice au sol est de **690m²**, élevée en deux étages.

Le bâtiment à deux façades donnant sur la rue, suivant les orientations Est et Sud, elles sont identiques dans l'aspect de la dimensions et distribution des ouvertures.

L'organisation du plan de l'immeuble est linéaire, deux axes qui s'allongent sur la longueur des deux rectangles suivant les directions Nord-sud et Est-ouest. Ils permettent de faire la répartition de l'ensemble de bureaux de l'entreprise.

Le nombre de bureaux est de quarante-cinq, avec une occupation entre 2 et 4 personnes, pouvant aller jusqu'à 5. Ces espaces possèdent des ouvertures vitrées à différentes dimensions, la plus grande est de 20.80m² de surface. Ces fenêtres sont occultées à l'intérieur par des rideaux ou stores vénitiens.

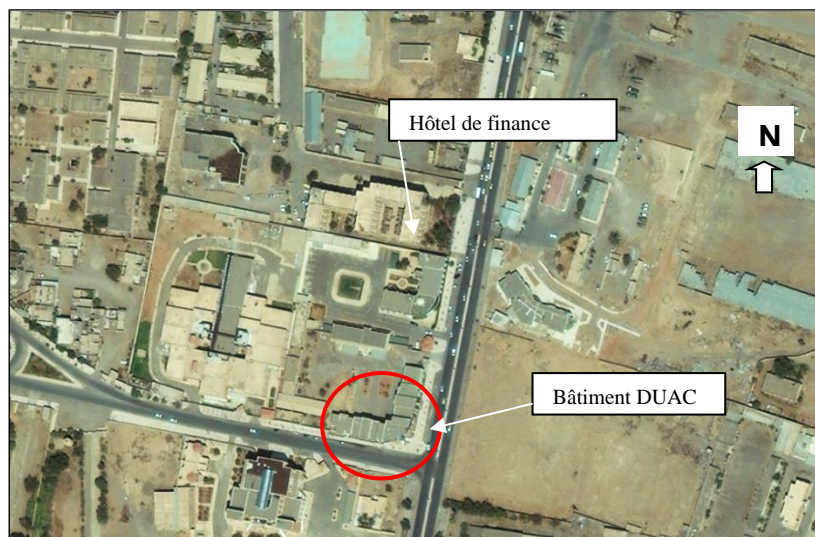


Figure III.36: situation du bâtiment DUAC (source :googleearth).



Figure III.37:vue sur la façade principale du siège DUAC (source auteur, 2017)



Figure III.38: Façade Sud-sud-ouest du bâtiment DUAC. (source auteur, 2017).

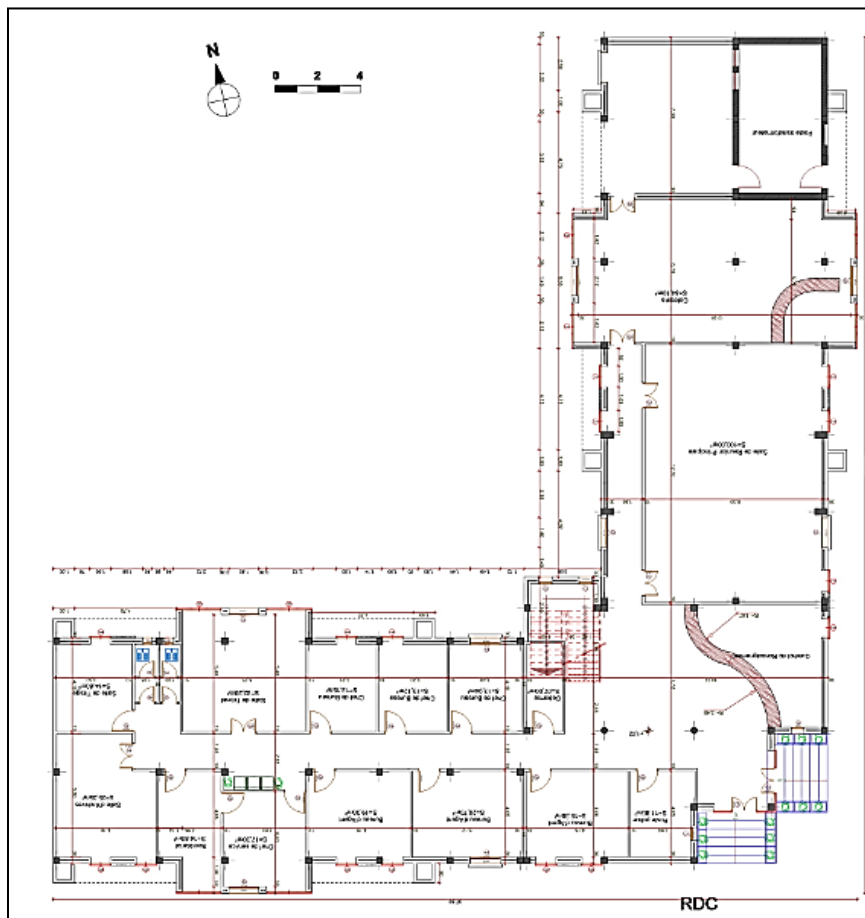


Figure III.39: plan RDC, du siège DUAC, (source: BET Top-building Bendjima)

Les dimensions et les orientations de différentes baies respectives aux bureaux, seront présentées en détails dans le chapitre IV qui va se suivre.

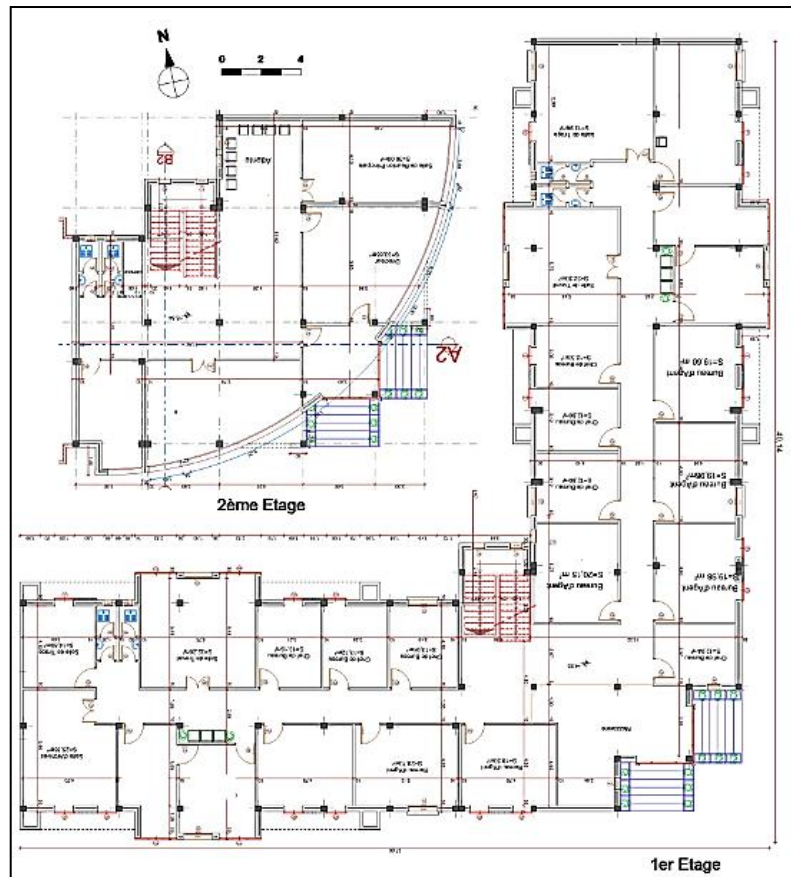


Figure III.40: plan 1er & 2ème étage, du siège DUAC, (source : BET Top-building Bendjima).

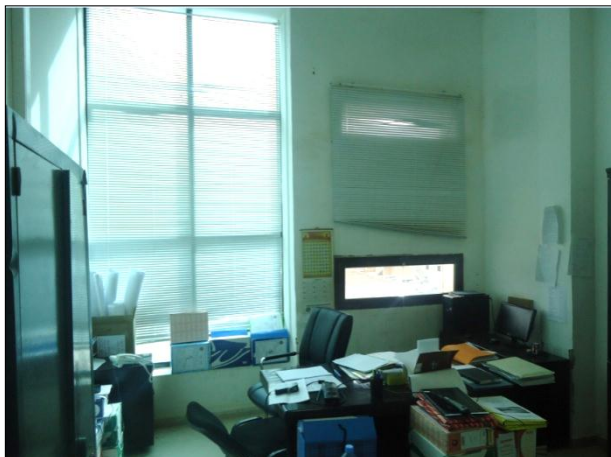


Figure III.41: la typologie baies des bureaux du siège DUAC (source : Auteur, 2017).

III.4 DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE ADOPTÉE POUR L'ETUDE :

Suite à la revue de la littérature exposée auparavant et traitant du confort thermique dans le bâtiment, il a été conclu que le confort thermique est une notion complexe à définir et qui dépend, dans la plupart de cas des paramètres physiques du milieu et ceux physiologiques et psychologiques de l'individu. Ace stade, on va adopter une méthode exploratoire de confort thermique auprès des individus sur leur lieu de travail. Pour cela, nous allons procéder une **enquêtes in situ** qui se réalise à travers les mesures physiques de l'ambiance et les réponses perceptives et affectives des occupants.

Cette approche correspond aux mesures des grandeurs physiques de l'ambiance thermique dans l'espace (température de l'air ambiant, température de la surface vitrée, humidité relative de l'air), et à une évaluation subjective de l'ambiance thermique par l'utilisateur à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence). En plus, une évaluation des conduites perceptives de l'utilisateur tels que : la satisfaction et le jugement d'acceptabilité et d'évaluation de l'environnement thermique. Pour les mesures physiques, la collecte des données sera faite avec des appareils de mesures, quant aux appréciations subjectives de l'individu, on se basera sur un questionnaire direct adressé aux usagers des bureaux.

III.4.1 Les mesures de l'environnement thermique :

Concernant cet outil de recherche, qui est les mesures des grandeurs physiques de l'environnement thermique, nous allons mettre sur pied un protocole de mesures des températures de l'air intérieur de l'air ambiant, de l'humidité relative et de la surface des parois intérieures y compris les surfaces vitrées. Cet outil nous permet donc, caractériser les indicateurs objectifs de confort thermique dans les bureaux. Par la suite, on va d'un part, les comparer avec les conditions du confort thermique recommandées dans les lieux du travail dans un climat saharien. D'autre part, voir comment les critères groupés de la surface vitrée, de l'orientation et la présence ou non d'occultations permettent d'influer sur le changement des ambiances intérieures pour les différents cas de bureaux choisis.

Ces mesures seront conduites dans deux périodes distinctes, la première est celle de l'été, la deuxième celle de l'hiver. Ils vont se réaliser pendant le moment où les employés exercent leur activité durant une journée du travail, à partir du 8h00 du matin jusqu'à 17h00. La procédure est faite d'une manière systématique à intervalles réguliers, c'est-à-dire, chaque 1 heure de temps, on note les valeurs mesurées de température de l'air, de l'humidité relative et de surfaces (parois et vitrage).

Appareils de mesures :

On utilise comme appareillage pour les mesures de la température de l'air et de l'humidité relative un thermo-hygromètre **Testo 480**, en utilisant une sonde de bien être numérique.

En ce qui concerne la température de surface, on va employer un thermomètre à infrarouge sans contact **VOLTCRAFT**.



Figure III.42: le Testo 480 pour la mesure de la température et de l'humidité relative (Source : Auteur).



Figure III.43: Thermomètre à infrarouge (VOLTCRAFT), pour la mesure de la température de surface (source : auteur).

III.4.2 Le questionnaire :

Le deuxième outil utilisé pour la collecte des données est un questionnaire auprès des employés dans les trois cas d'étude. Il a pour objectif de mesurer les indicateurs subjectifs de confort thermique chez l'utilisateur, données qui feront ensuite l'objet d'une analyse statistique. Cette technique de recherche est définie comme une technique directe d'investigation scientifique utilisée auprès d'individus et permet de les interroger de façon directive et de faire un

prélèvement quantitatif en vue de trouver des relations mathématiques et de faire des comparaisons chiffrées. Il peut prendre la forme auto-administré ou interview.

- *Le questionnaire auto administré* : ici, le formulaire de questions est rempli par la population enquêtée, il est distribué à chaque élément de l'échantillon.

Le questionnaire interview : le formulaire de questions posées verbalement par le chercheur lui-même, qui note les réponses fournies par les répondants (Angers, 2009).

III.4.2.1 Le formulaire de questions :

Un instrument de collecte de donnée en vue de soumettre des individus un ensemble de questions. Il est construit sur la base de l'analyse conceptuelle de la recherche, contient des questions de type ouvertes et fermées (Angers, 2009).

Le questionnaire de notre recherche est basé sur la deuxième dimension de l'analyse conceptuelle de notre recherche qui est **les indicateurs subjectifs**. Alors pour cela, la construction de formulaire de questions est élaborée suite aux échelles de jugements subjectifs de confort thermique, les jugements d'acceptabilité et d'évaluation et l'intensité de satisfaction de l'utilisateur envers les caractéristiques thermiques et physiques de son espace de travail. De plus, on se base sur les mesures des ajustements des occupants de bureaux pour modifier leur état thermique. Ces ajustements individuels au niveau de l'espace de travail, se traduisent par des comportements d'adaptation face à la situation thermique existante. A cet effet, on peut répartir les rubriques du formulaire de questions en trois, elles viennent comme suit :

1/ Caractéristique de l'espace architectural :

Exposition à l'environnement thermique (indice topologiques)

- Emplacement.
- Orientation.

Indices typologiques : où se trouvent les personnes enquêtées dans le bâtiment.

- Typologie du bureau
- Surfaces vitrées.
- Protection intérieure.

Rubrique	Dimension	La question	La mesure
2/ Indicateurs perceptifs	Caractéristiques de l'utilisateur.	- Genre - Profil professionnel - l'espace bureau Plait ou ne plait pas à l'utilisateur. - Préférences de changement. - Les facteurs défavorables pour le confort de l'utilisateur.	Traits de l'individu.
		Combien d'heures par jour passez-vous à votre bureau ?	Temps passé dans le bâtiment
	Adaptation psychologique	Ancienneté dans le bureau	Expérience professionnelle

2/. Indicateurs perceptifs	Le Jugement subjectif en été/hiver	Comment vous sentez-vous à l'intérieur du bureau en journée d'Été/hiver ?	Vote de perception
		Comment trouvez-vous cela ?	Vote d'évaluation
		Préfériez-vous avoir en Eté/Hiver ?	Vote de préférences.
	Jugement d'acceptabilité :	Comment jugez-vous les conditions de la température à l'intérieur de votre Bureau ?	Conditions thermiques intérieures
2/. Indicateurs perceptifs	Satisfaction	Au niveau de votre environnement de travail, êtes-vous satisfait de :	- Fraicheur en été. - Chaleur en hiver. - Dimensions des baies vitrées. - Aération.
	Jugement évaluatif :	Comment jugez-vous les dimensions de vos fenêtres ?	Dimension de fenêtre.
		Est-ce que votre bureau devient plus chaud quand il y a du soleil à l'intérieur ?	Tache solaire
		Est-ce que votre bureau devient plus chaud quand il y a du soleil à l'intérieur ?	L'intensité de protection par les rideaux intérieurs.
Importance	Combien est-il important pour vous d'avoir des fenêtres/baies vitrées ?	Importance de fenêtre	
3/. Indicateurs comportementaux	-Actions au niveau de l'espace bureau -Actions au niveau de la baie.	Dans le cas d'inconfort thermique, Indiquez comment vous vous comportez afin d'ajuster l'ambiance thermique ?	Adaptation comportementale

Une pré-enquête a été réalisée chez quelques employés (11 personnes) au niveau de deux directions (la direction du logement et l'URBAT Béchar) avec pour but de tester la compréhension de l'ensemble des questions et la durée nécessaire pour répondre à l'ensemble des questions.

III.4.2.2 Traitement des résultats de questionnaire :

L'analyse des données collectées par ce questionnaire seront traitée à l'aide d'un logiciel de Statistique qui celui de **Sphinx Plus.V5**. Chaque question de formulaire saisie dans le logiciel (Sphinx) en forme d'une variable, les choix qui étant données à chaque question fermé ou multiple, sont des modalités. Après, on avoir rempli les réponses de chaque personne interviewée, la dernière étape, est le traitement et l'analyse de résultats, cette phase est faite selon trois types ; uni variée, bi/multi variée. Pour la première lecture qui est l'analyse univariée ou à **plat**, elle porte sur chaque variable tout seule, il s'agit de décrire de manière élémentaire et descriptive les résultats quantitatifs des réponses.

Cette phase permet de nous donner des résultats quantitatifs pour chaque variable perceptive et comportementale, mesurant les indicateurs subjectifs de l'utilisateur. En ce qui concerne la deuxième lecture qui est l'analyse bi/multi variée ou l'analyse croisée, elle se réalise en croisant deux variables ou plus à la fois. L'analyse bi variée permet d'établir le type de relation ou de dépendance entre deux variables, on peut expliquer une variable à partir d'une autre variable expliquant. L'analyse multi variée intègre plusieurs variables à la fois, elle nous permet de donner le type de correspondance entre les variables, elle se présente en général sous forme des cartes factorielles.

III.4.2.3 Les tests statistiques de corrélation :

Afin de déterminer le lien et de mesurer le degré et la direction des relations entre les indicateurs, on procède à une interprétation à l'aide des tests statistiques, ces tests sont appelés les tests de corrélation. On va s'appuyer dans notre analyse sur deux types, le test de Spearman et Pearson, et le test de Chi2. Le test de Spearman et Chi2 mettent en évidence le lien entre les variables qualitatives et celui de Pearson utilisé pour l'analyse des variables quantitatives.

La valeur de coefficient de Spearman et Pearson appelée valeur (**R**) est comprise entre -1 et +1, son interprétation sera faite sur l'échelle de Lickert de cinq niveaux. Cette valeur peut être négative, ça veut dire une corrélation négative, si une variable se varie le deuxième se le suit dans le sens opposé. Un signe positif veut dire une corrélation positive, si une variable varie l'autre la suit dans la même direction.

Type de relation	Valeur (Rho)
corrélacion nulle,	$R=0$
corrélacion faible	$0 < R < 0.25$
corrélacion moyenne	$0.25 < R < 0.5$
corrélacion forte	$0.5 < R < 1$
corrélacion totale	$R=1$

Conclusion :

La notion de confort thermique possède à la fois un caractère subjectif, lié à l'individu qui exprime son propre état thermique dans un contexte donné, et un caractère objectif représenté par les paramètres du micro climat intérieur. Parallèlement à cela, l'enjeu de la notion de bien

être thermique articule différentes données qui sont d'ordre, psychologiques, physiologiques et physiques. La mesure de chaque donnée nécessite diverses techniques de recherche qui appartiennent à différentes disciplines. Dans ce chapitre, on a opté pour deux techniques, la première traite la dimension psycho-physiologique en mesurant les données subjectives de l'individu au sein de son espace. La deuxième traite la dimension thermo-physique en mesurant les données objectives de l'environnement thermique intérieur.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter en premier lieu, les résultats de mesures des données subjectives recueillies chez l'utilisateur au sein de trois bâtiments. Ces dimensions subjectives issues de l'utilisateur seront récoltées à l'aide d'une investigation directe sur terrain (méthode de questionnaire) au sein de différents espaces de bureaux dans les trois bâtiments. Ces espaces seront sélectionnés en fonction des caractéristiques de leurs baies vitrées.

CHAPITRE IV :
LES INDICATEURS SUBJECTIFS
(Analyse des données du questionnaire)

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons analyser les résultats de l'enquête faite auprès de trois bâtiments. Ces résultats recueillis par l'enquête, sont divisés en deux catégories, les conduites perceptives et comportementales des employées envers leur environnement thermique. Les conduites perceptives incluent les jugements subjectifs, jugement d'acceptabilité, l'adaptation et satisfaction vis-à-vis les conditions thermiques. Pour celles comportementales, elles traitent les actions d'adaptation comportementale de l'utilisateur envers son espace, pour l'ajustement de son état thermique. Elles englobent simultanément les gestes au niveau de l'espace de bureau en général, et ceux au niveau de la baie vitrée.

L'analyse des résultats va être étudiée, à l'aide des logiciels statistiques on se basant en première étape, sur une analyse à plat (univariée) pour chacune de ces conduites. En seconde étape, une analyse croisée (bi/multi variée) sera faite entre les conduites perceptives et les variables de la baie vitrée pour examiner le rapport entre elles. Ensuite, une analyse reliant les variables de l'environnement notamment les caractéristiques de la baie avec les conduites perceptives et comportementales.

Le formulaire de questions a été distribué aux usagers de trois directions Tourisme, DTP et DUAC dans la période de mois de novembre. On a adopté une procédure semi directive d'un questionnaire de forme auto-administré. L'enquêteur fait expliquer au début les questions qui nécessitent un éclaircissement, puis laisser le répondant répondre aux questions en remplissant lui-même le formulaire.

IV.1 Caractéristique de l'espace architectural :

Exposition à l'environnement thermique

La caractérisation de l'espace architectural est élaborée en fonction de deux indices ; topologique (emplacement, orientation) et typologique (type de bureau, surface vitrée et protection solaire).

IV.1.1 Le bâtiment Tourisme

IV.1.1.1 Emplacement, orientation : (indice topologiques)

La typologie du plan du siège de tourisme est linéaire, dont le système couloir, la quasi-totalité des bureaux de la direction donnent sur les façades extérieures. La population interviewée est répartie sur 10 bureaux qui se situent dans le RDC et étage.

Trois catégories des espaces de bureau ont été sélectionné pour faire l'enquête, elles sont réparties comme suit : la première donnant sur la direction Sud Est, présente une surface vitrée plus de 70% de surface de mur, la deuxième et la troisième catégorie comprennent les employés des bureaux qui ont plus de 30% de surface vitrée par rapport à la surface de mur de façade et orientées suivant les deux directions, Sud-ouest et Nord-est.

Les bureaux qui ont été sélectionnés, l'ont été selon les critères d'échantillonnage qui viennent d'être cités (la surface vitrée, l'orientation et la présence ou non d'une protection solaire).

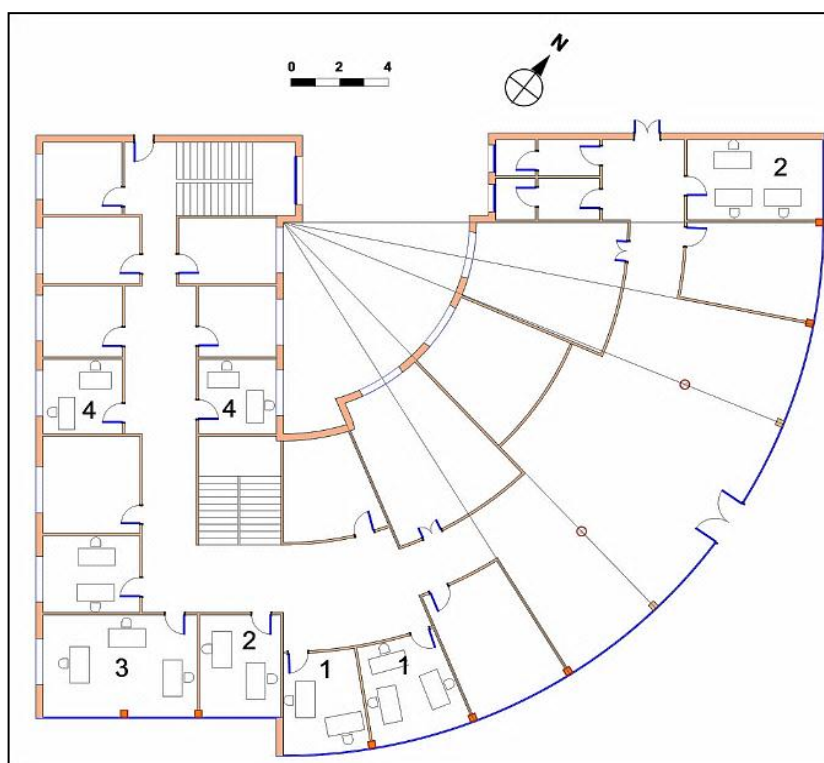


Figure IV.1:bureaux sélectionnés pour l'enquête, RDC du bâtiment tourisme.

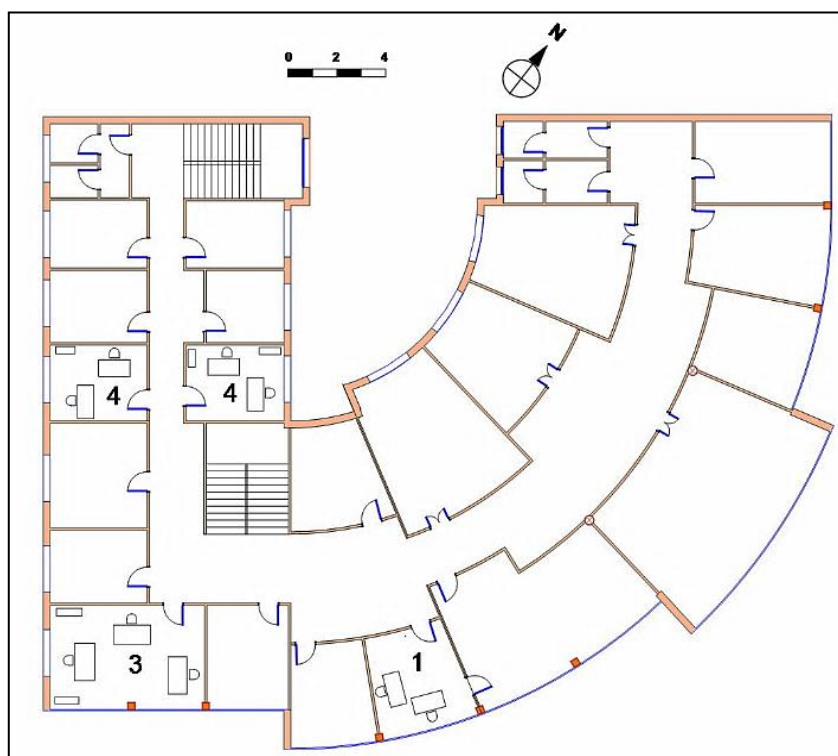


Figure IV.2 : les bureaux sélectionnés pour l'enquête, étage du bâtiment tourisme.

IV.1.1.2 Type de bureau et protection : indices typologiques

Notre population enquêtée est composée des personnes travaillent dans l'entreprise réparties dans des bureaux de type partagés entre deux et trois personnes par bureau. Les baies de ces espaces bureaux ne possèdent aucune protection solaire, leurs surfaces et dimensions sont réparties comme il est indiqué dans le tableau en dessous.

Bureau	Orientation	Surface vitré	Surface mur	% de vitrage	Façade intérieur
B01	Sud-Est	8.82 (3.60*2.35)	11.70	73%	
B 02		6.44(2.80x2.30)	9.24	70%	
B 03		16.92(7.20x2.35)	24.29	70%	
B 04	Sud-Ouest, Nord Est	2.63(1.95x1.35)	9.00	30%	

Tableau IV.1 : tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation. Tourisme.

Les usagers concernés par ce questionnaire sont en majorité situés dans des espaces dont des baies orientées Sud-est avec un pourcentage de 50% de nombre total de personnes interviewés. Les espaces orientés Sud-ouest abritent 30% de l'échantillon et ceux orientés Nord-est abritent 20% des usagers.

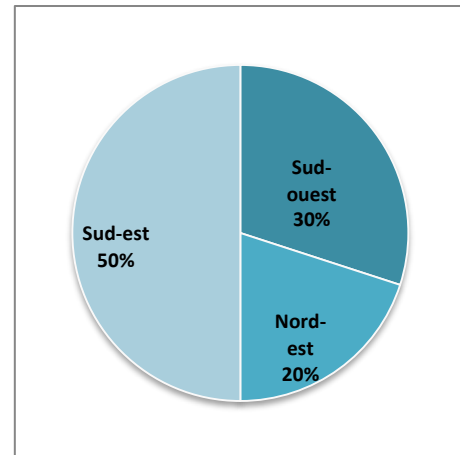


Figure IV.3: pourcentage des usagers interviewés en fonction de l'orientation des baies (tourisme).

IV.1.2 Le Bâtiment DUAC :

IV.1.2.1 Emplacement, orientation:(indice topologiques)

La population interviewée dans le bâtiment DUAC est répartie sur neuf bureaux qui se situent dans le premier et le deuxième étage.

L'emplacement de ces espaces de bureaux choisis donne sur la façade extérieure suivant trois orientations, Est-sud-est, Sud-est et Sud sud-ouest. Ils sont choisis selon les critères d'échantillonnage (la surface vitrée, l'orientation et la présence ou non d'une protection solaire).

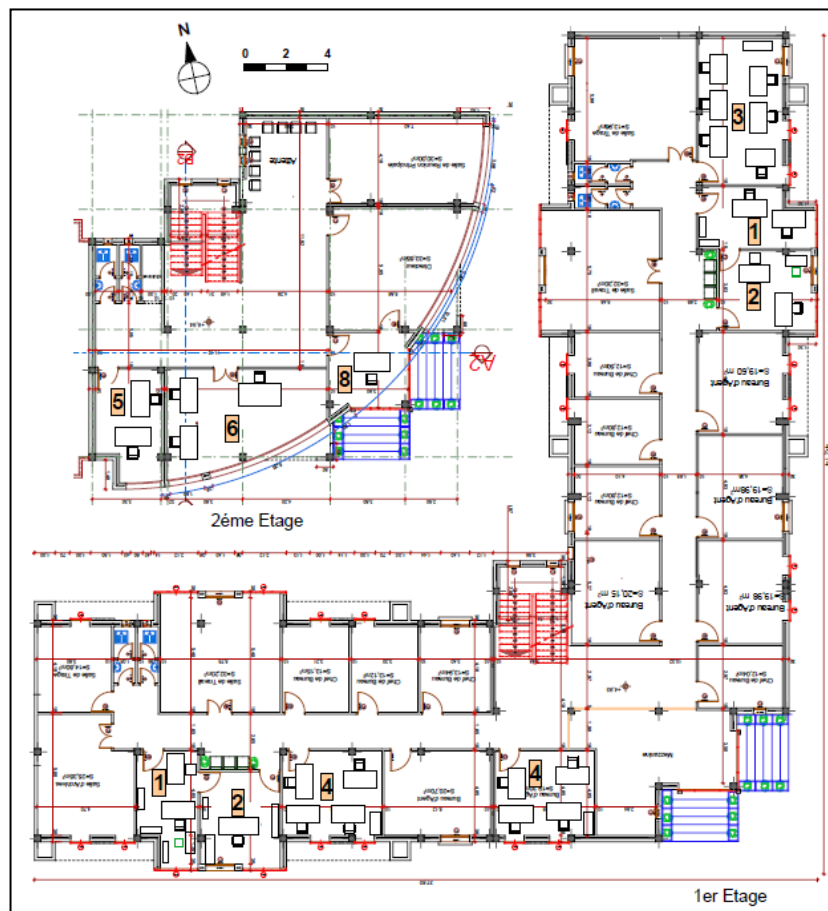


Figure IV.4: les bureaux sélectionnés pour l'enquête du bâtiment DUAC.

IV.1.2.2 Type de bureau et protection : indices typologiques

Les types de bureaux concernés par l'enquête dans le bâtiment DUAC sont de type individuel et partagés (deux, trois et quarts personnes). Les baies de ces espaces bureaux possèdent des protections intérieures de type store et rideau, leurs surfaces et dimensions sont réparties comme il est indiqué dans le tableau en dessous.

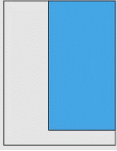
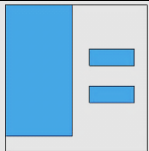
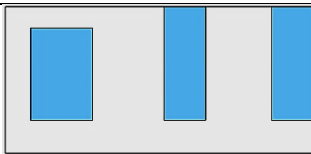
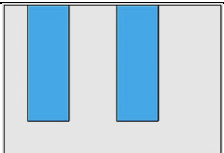
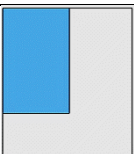
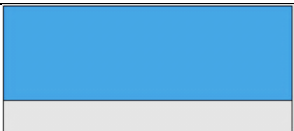
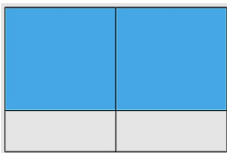
Bureau	Orientation	Surface Vitré	Surface mur	% vitrage	Façade intérieur
B01	Est-sud-est & Sud –sud-ouest	6.11	11.36	54	
B02		6.30	14.52	43	
B03	Est-sud-est	7.92	23.56	34	
B04	Sud –sud-ouest	4.94	16.57	30	
B05	Sud –sud-ouest	4.29	11.59	38	
B06	Sud-sud-est	20.80	28.00	74	
B07	Sud-sud-est & Sud –sud-ouest	14.56	20.28	72	

Tableau IV.2:tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation(DUAC)

Le pourcentage des usagers concernés par ce questionnaire dans le bâtiment DUAC est réparti en 48% d'un effectif situé dans des espaces dont des baies orientées Sud-sud-ouest, 32% en Est-sud-est et 20 % d'effectif situe dans des espaces donnant sur la façade Sud-sud-est.

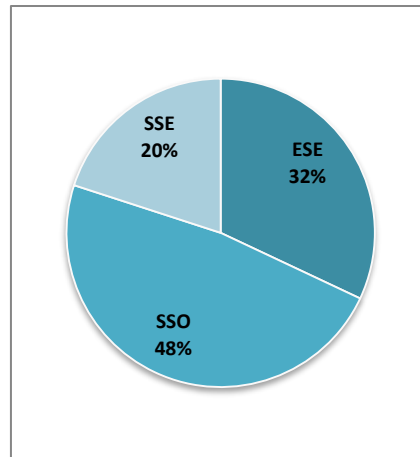


Figure IV.5: pourcentage d'effectifs interviewés suivant l'orientation (DUAC)

IV.1.3 Le Bâtiment DTP :

IV.1.3.1 Emplacement, orientation:(indice topologiques)

Dans le bâtiment DTP, les employées qui sont localisés dans une batterie de cinq bureaux en forme d'un quart de cercle orienté Sud-sud est situé en étage, sont concerné en premier lieu par ce questionnaire. Ensuite, trois autres localisations des bureaux ont été choisies, Est, Sud-sud est et Ouest. Ils sont tous donnant sur les **façades extérieures**.

Ils sont choisis suivant les critères suivant : la surface vitrée, l'orientation et la présence ou non d'une protection solaire. Dans cet édifice, on trouve deux types de baies vitrées, le tableau en dessous, montre ses caractéristiques ainsi la typologie des bureaux respective pour chaque cas.

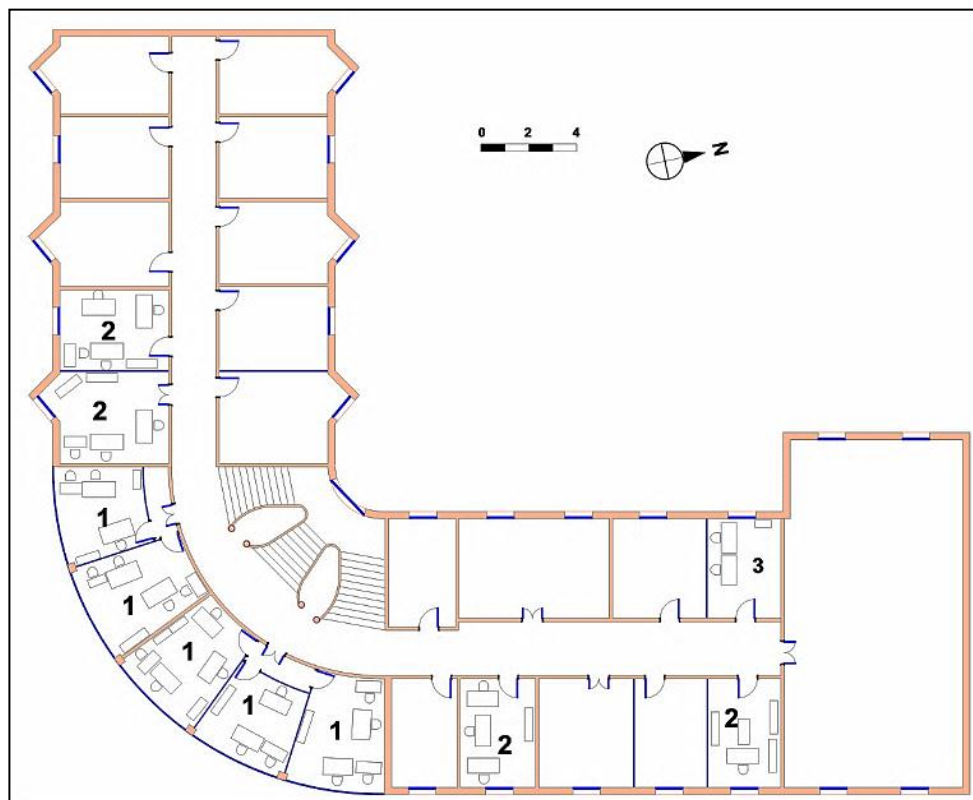


Figure IV.6: les bureaux sélectionnés pour l'enquête du bâtiment DTP.

IV.1.3.2 Type de bureau et protection : indices typologiques

La majorité de bureaux concernés dans le bâtiment DTP sont de type partagé de trois personnes par bureau, on trouve quelques cas, où il y a deux personnes par bureau. Leurs baies vitrées possèdent des protections intérieures de type store et rideau, leurs surfaces et dimensions sont montrés dans le tableau en dessous.


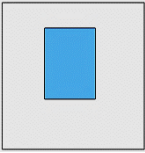
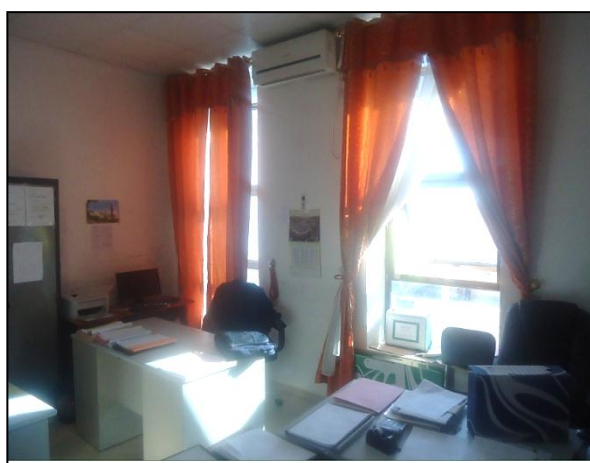
Bureau	Orientation	Surface Vitré	Surface mur de bureau	% vitrage	Façade intérieur
B01	Sud-sud-est	9.16	13.32	69	
B02	Sud-sud-ouest	1.71	9.85	18	
B03	Est & Ouest	1.71	9.85	18	

Tableau IV.3: tableau récapitulatif de pourcentage de vitrage en fonction de l'orientation(DTP)

Rappelons que, ce sont les bureaux dont les baies vitrées orientées : Sud-est, Sud-ouest et Sud, de type partagé (plus d'une personne par bureaux), donnant sur la façade extérieure et qui ont de grandes surfaces vitrées (plus de 40% de surface de mur) qui sont concernés par l'étude. Les bureaux individuels, ceux qui ont des baies orientées : est, ouest, nord-ouest, nord-est et de dimensions inférieures de 35% de la surface de mur, ne sont pas très **prégnants** dans l'échantillon enquêtés, mais nous avons inclus quelques cas dans cette étude afin de pouvoir généraliser les résultats (voir les Tableau IV.1Tableau IV.2Tableau IV.3).



Bureau partagé par deux personnes donnant sur le Sud-sud-ouest. (DUAC)



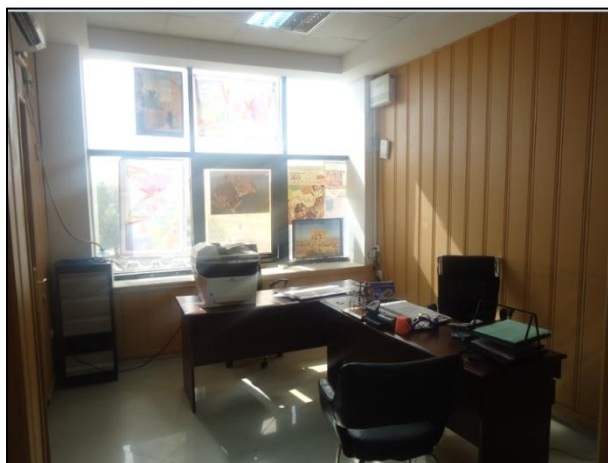
Bureau partagé par quatre personnes donnant sur le Sud-sud-ouest. (DUAC)



Bureau partagé par trois personnes donnant sur le Sud-sud-est. (DTP)



Bureau partagé par trois personnes donnant sur le Sud-sud-est. (DUAC)



Deux Bureaux chacun partagé par deux personnes et donnant sur le Sud- est. (Bâtiment Tourisme)



Figure IV.7:les divers types de bureaux les plus investis par l'enquête

IV.2 Analyse à plat (univariée) :

Dans cette section, une analyse descriptive et univariée est faite pour chaque variable des indicateurs subjectifs de l'utilisateur. Ces variables comprennent **les aspects généraux** qui caractérisent chaque individu, ils incluent le genre, l'attachement au lieu, l'adaptation dans le temps, les préférences, et les facteurs défavorables pour chacun. **Les jugements subjectifs** qui contiennent les votes de perception, d'évaluation et de préférence, **les jugements d'acceptabilité** et la **satisfaction**. En dernier rubrique, une analyse des indicateurs **d'adaptation comportementale** inclut les actions de l'individu.

IV.2.1 Aspects généraux : caractéristique de l'utilisateur.

Profil professionnel :

Concernant le profil professionnel, la population enquêtée est composée d'employés répartis entre deux catégories, l'administration et la technique, en ce qui concerne la première catégorie, elle représente 56% des administrateurs (des agents de finance, personnel, saisie...), la deuxième regroupe les ingénieurs et les techniciens avec un pourcentage de 44%.

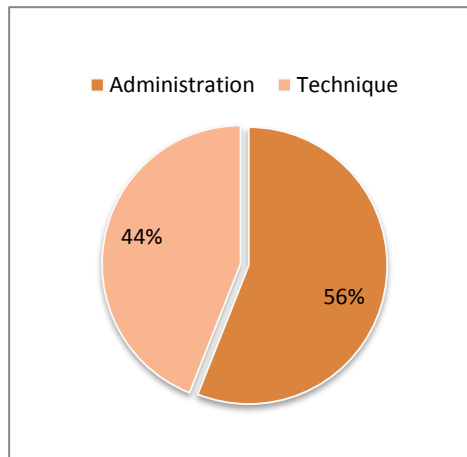


Figure IV.8: répartition des effectifs en fonction du profil professionnel.

IV.2.1.1 Attachement au lieu :

Une question fermée dichotomique étant posée aux employés sur leurs espaces bureaux en générale pour voir s'ils les aiment, en indiquant, quelques paramètres physiques comme, la forme, l'aménagement, et la température. La grande partie des usagers répondent par NON, avec un pourcentage de 67% dans les trois cas. Pour pouvoir caractériser les causes de ces impressions négatives des occupants envers leurs espaces de travail, cette question est suivie par une autre à choix multiples dont l'objet est l'environnement thermique. Ainsi, les usagers peuvent annoncer leurs préférences de changement.

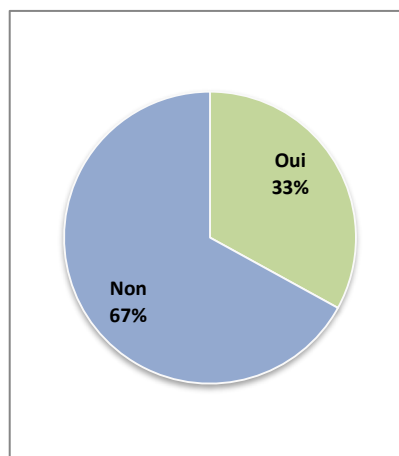


Figure IV. 9 : pourcentage des usagers en fonction de leur plaisir à l'espace physique.

IV.2.1.2 Préférences souhaitées :

La majorité des personnes qui se montrent une non-satisfaction de leurs espaces, préfèrent des espaces moins exposés au rayonnement solaire, plus de 64% d'effectif dans le siège du tourisme et la DUAC et 42.9% pour le cas de la DTP. En deuxième lieu on trouve la

préférence des fenêtres de dimensions moins petites est le plus préféré, 32% pour la DUAC et 35% pour le siège du tourisme. Pour le cas de la DTP, 28.6% préfèrent des fenêtres moins petites. Après, les autres préférences souhaitées se changent, les plus marquées sont ; les espaces plus aérés (36% cas DUAC, 33.3 cas DTP) et plus spacieux (24% cas DUAC, 47.6 cas DTP).

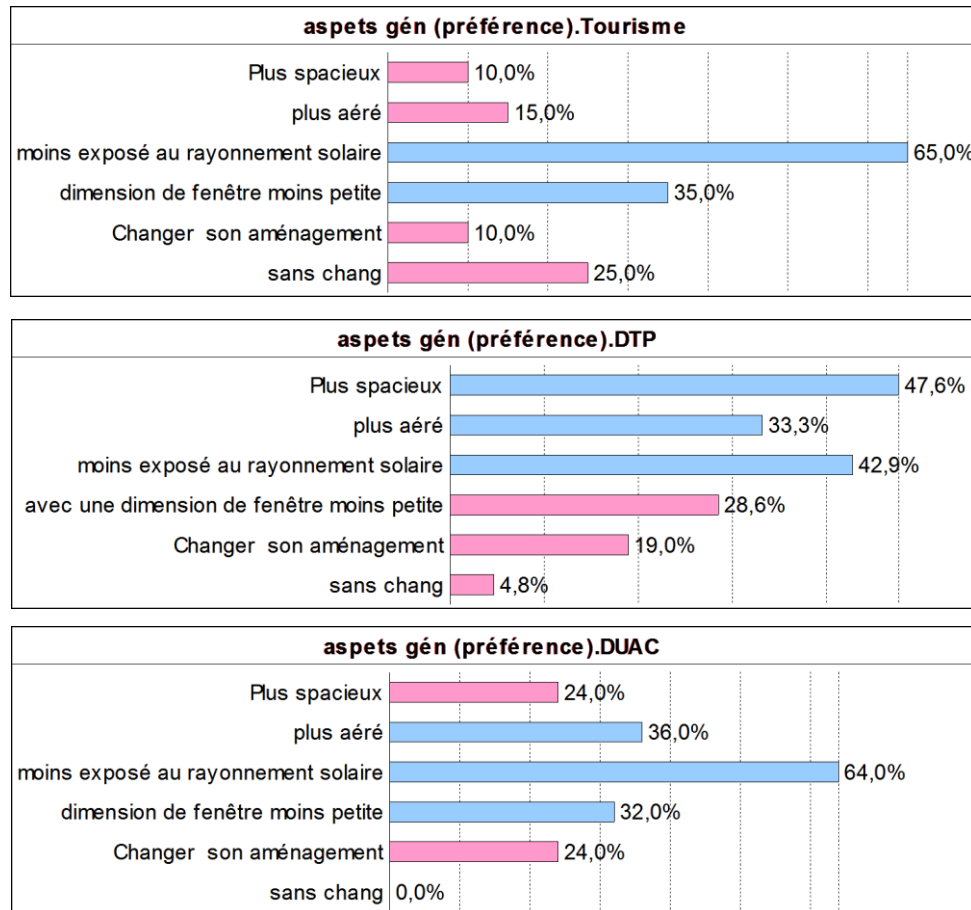


Figure IV.10: pourcentage d'effectif en fonction de la préférence souhaitée.

On constate d'après ces résultats, que les espaces où travaillent les usagers enquêtés se confrontent aux problèmes d'exposition directe au rayonnement solaire, le manque d'aération et le manque de surface. Aussi, **la préférence de changement** à des fenêtres moins petites par rapport à celles qui existent est plus marquée par les usagers. Cet indice est en relation manifeste avec le problème de rayonnement solaire direct incident à l'intérieur et le manque d'ombre, en ce qui concerne ses caractéristiques morphologiques et topologiques dans l'enveloppe du bâtiment.

IV.2.1.3 Les facteurs défavorables de confort de l'utilisateur :

La dernière variable utilisée pour caractériser l'utilisateur concerne les facteurs thermiques défavorables pour le confort de chaque individu. Une question fermée à choix multiples (température, courant d'air et humidité) est posée, dans les trois cas d'étude, presque la totalité des personnes (plus de 90%) affirment que la température est le facteur le plus défavorable pour leur confort (Figure IV.11). Donc la température représente un facteur très

important pour le confort des usagers. Aussi on remarque que le mouvement d'air est un autre paramètre désirable par les travailleurs pour le maintien de leur confort.

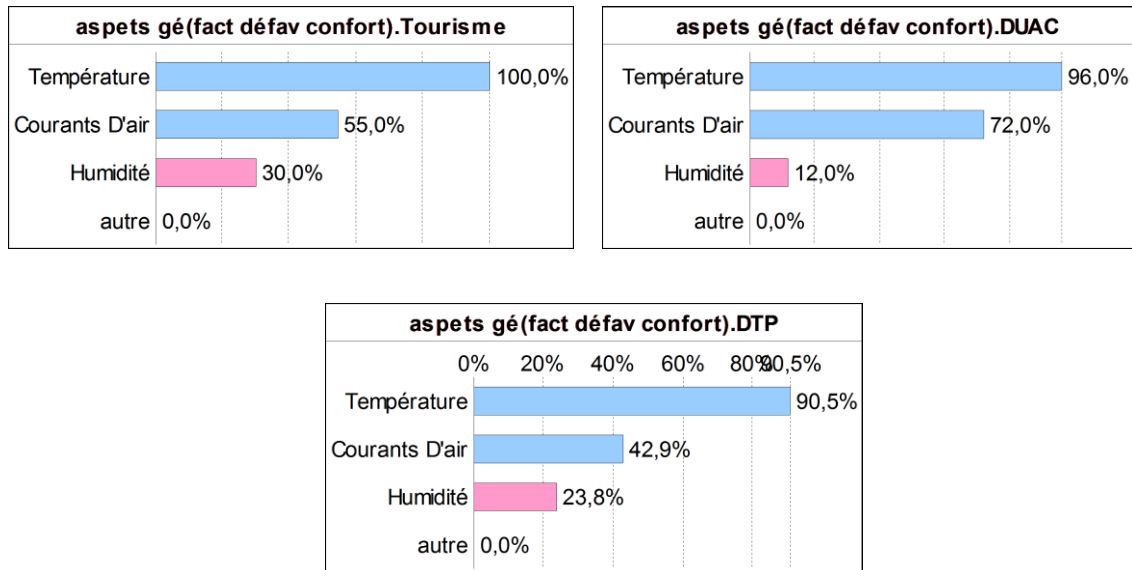


Figure IV.11: le facteur le plus défavorable pour le confort des usagers.

IV.2.1.4 L'expérience, le vécu :

Deux questions ont été posées afin d'identifier le degré d'expérience et le vécu des usagers à l'environnement thermique. L'objectif est de recueillir les sensations thermiques de l'occupant et ses actions d'adaptation. En ce qui concerne le premier indice de mesure est les heures journalières passées dans le bâtiment, le deuxième est le nombre d'années passées dans le bâtiment (l'expérience professionnelle).

Les bâtiments de la DTP et DUAC, plus de 72% de personnes ont vécu de 7 à 8 heures par jour dans le bâtiment, pour le cas du Tourisme, les usagers qui passent le même temps représentent (65%). On ce qui concerne l'ancienneté, plus de la moitié de pourcentage des usagers ont une expérience entre 1 et 5 ans dans le bâtiment pour les trois cas (75% cas tourisme, 52,4% cas DTP, 64% cas DUAC) voir Figure IV.13

D'après ces résultats on peut dire que la plupart des usagers ont passé une durée du temps et une expérience suffisamment longue vis-à-vis leurs espaces de bureaux, ce qu'ils peuvent ainsi bien décrire leurs contextes thermiques dans le bâtiment, et évaluer le microclimat intérieur.

Les usagers des trois bâtiments sont pour la plupart des gens exposés à une ambiance thermique durant une période de temps suffisant pour dire qu'ils peuvent l'évaluer de **manière juste**, et réagissent pour s'y adapter par des actions comportementales ou ajustements psychologiques.

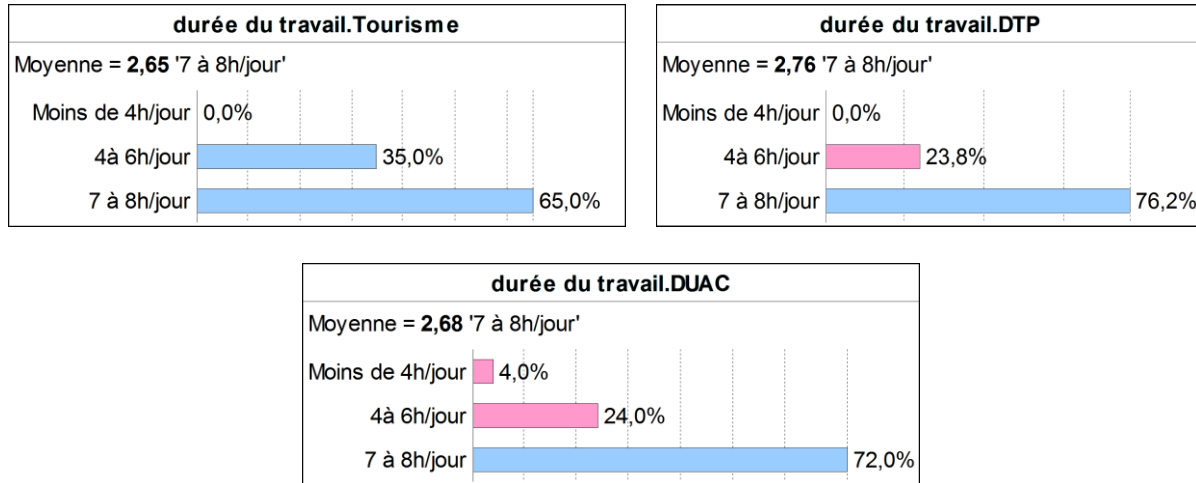


Figure IV.12: le nombre d'heures que les usagers passent au bâtiment.

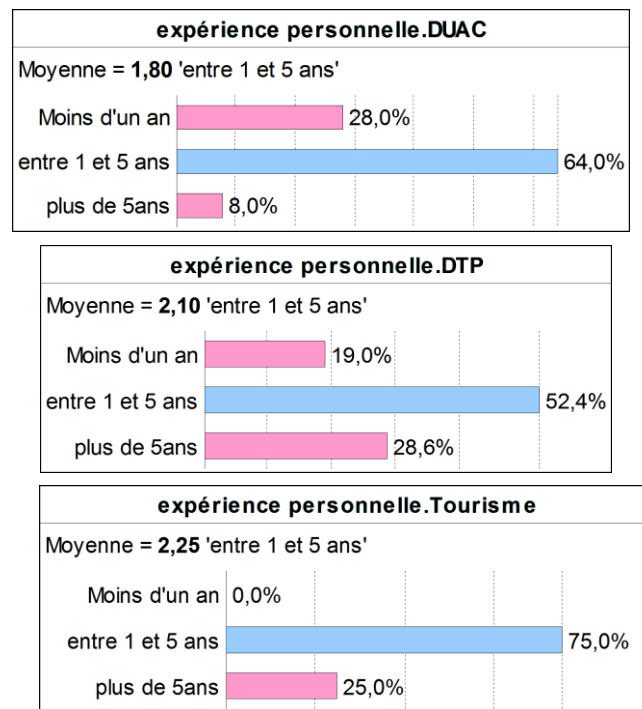


Figure IV.13: pourcentage d'effectif en en fonction de l'ancienneté dans le bâtiment.

IV.2.2 Le Jugement subjectif (été) :

IV.2.2.1 Vote de perception et d'évaluation :

L'évaluation des aspects subjectifs de la perception de l'état thermique des usagers, est réalisée par des questions, en demandant directement aux occupants des espaces de bureaux, de porter leurs jugements affectifs et personnels. Pour cela, on se base pour quantifier ces aspects, sur des échelles thermiques, qui sont utilisées pour évaluer les jugements subjectifs de l'état thermique personnel selon la norme (NF ENISO 10551) voir (section 3 du chapitre I).

Alors, Ces questions sont divisées en trois groupes dans l'ordre suivant : vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence.

Pour le vote de perception de la température **en été**, il est jugé très chaud par la plupart des usagers (64%) du bâtiment DUAC, une tranche de 26% le perçoit chaud.

Dans le bâtiment Tourisme, la moitié des personnes (50%) des enquêtés, jugent leur état thermique en été chaud et 25% le jugent comme très chaud.

Cependant, le pourcentage de personnes qui perçoivent leur état thermique comme chaud égale le même nombre de personne qui la jugent très chaude (33.3% pour les deux).

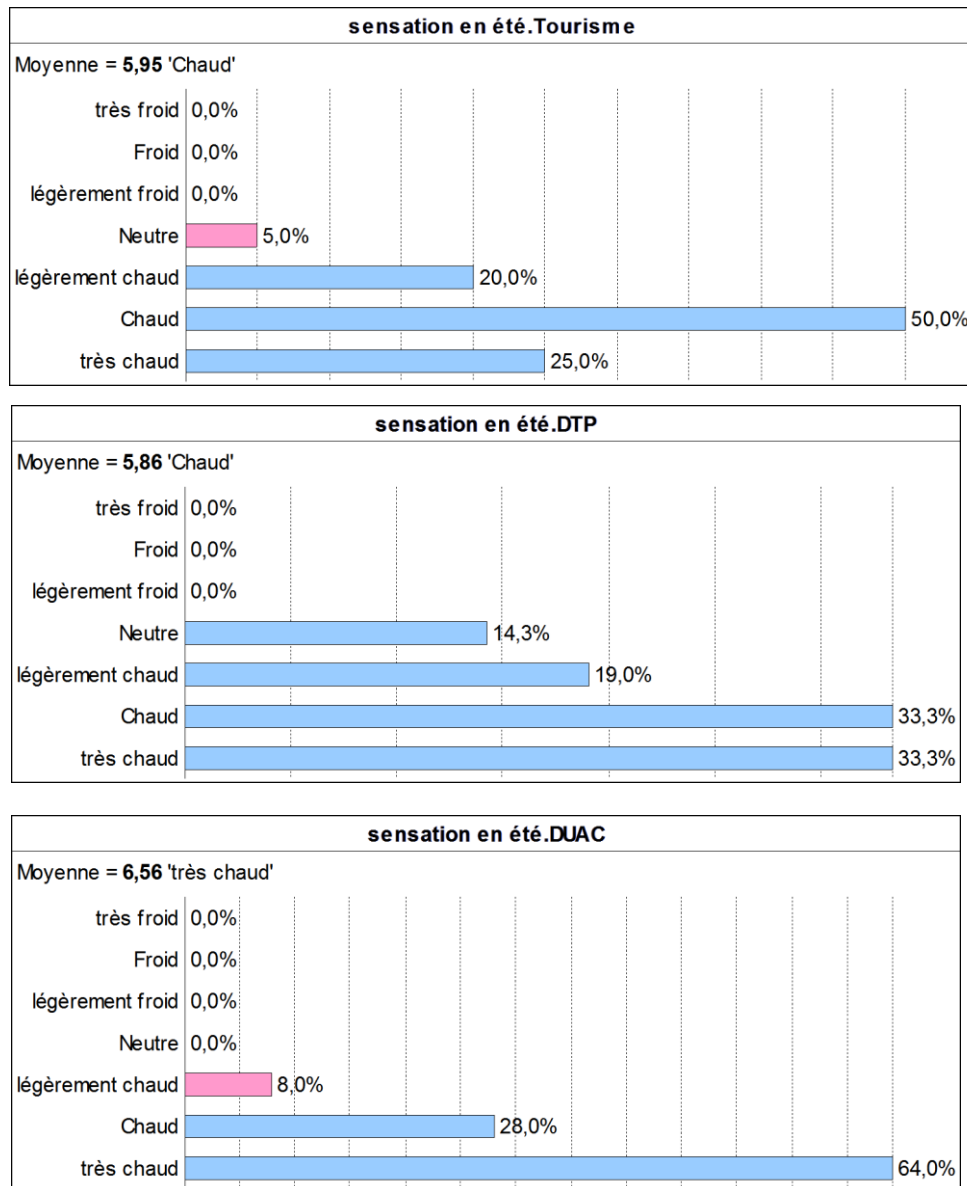


Figure IV.14: Votes de perception de la température en période d'été.

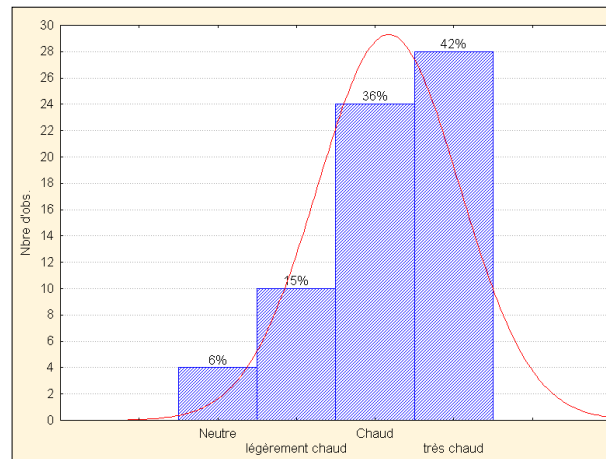


Figure IV15:synthèse des trois votes de perception

En général, dans les trois cas d'étude la plupart des usagers interrogés perçoivent les ambiances de leur environnement thermique en été comme étant chaud et très chaud. Seule une petite partie (inférieure à 20%) le juge comme étant légèrement chaud.

Ensuite, un vote d'évaluation de l'ambiance thermique en été montre que dans les trois bâtiments, les occupants évaluent l'état thermique en été comme inconfortable. Respectivement : 55% dans le bâtiment tourisme, 48% pour la DUAC et 42.9% pour la DTP. Dans le deuxième degré, 32% de personnes dans le cas de DUAC votent comme étant très inconfortable. Tandis qu'un jugement **légèrement inconfortable** pour le cas du Tourisme (35%) et la DTP (33.3%).

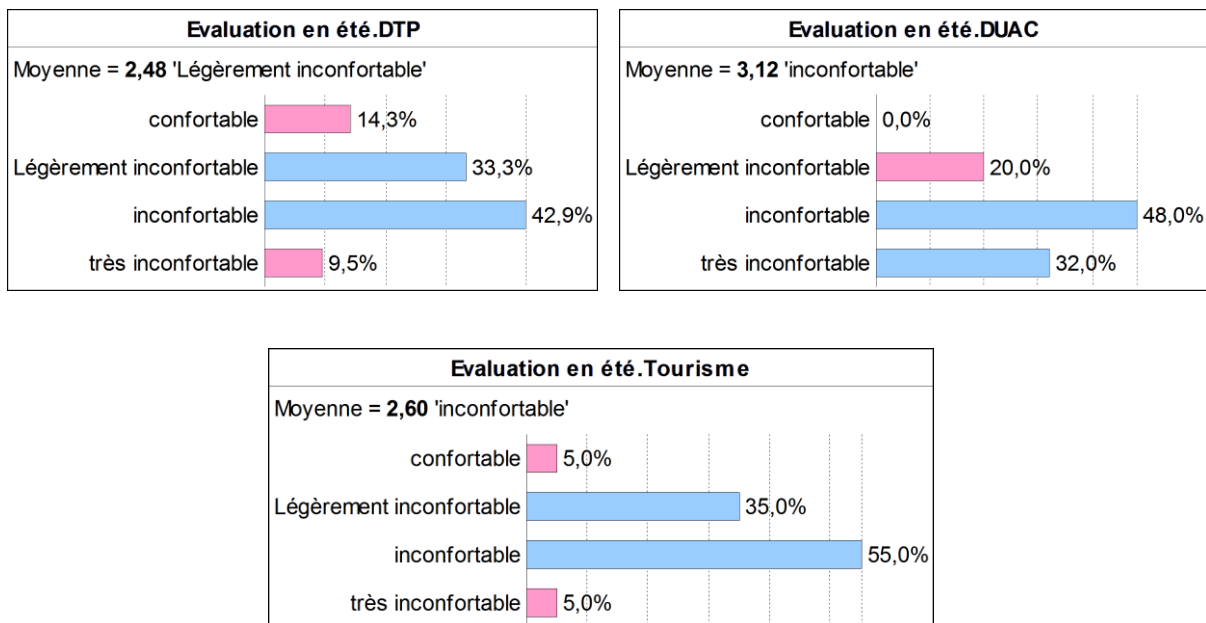


Figure IV.16: Votes d'évaluation de l'ambiance thermique en été.

IV.2.2.2 Vote de préférences :

Le vote de préférence est le jugement concernant les conditions prévues par apport aux réponses précédentes, l'utilisateur déclare une augmentation ou une diminution selon une échelle de préférence, par rapport au sentiment évalué ou perçu.

Parmi les quatre échelles, le pourcentage de personnes qui préfèrent un changement en un environnement thermique **plus froid** prend la valeur de 45% dans le bâtiment Tourisme par apport à un pourcentage de 40% de personnes qui préfèrent un environnement **un peu plus froid**. Dans le bâtiment DTP, 38.1 % des usagers portent un vote de préférence **plus froid** par apport à 33.3 % d'un vote de préférence **un peu plus froid**. Aussi, une tranche de 19% de personnes, préfèrent que les conditions thermiques être **beaucoup plus froid**.

Pour le cas du bâtiment DUAC, le vote de préférence **plus froid** égale à ceux **un peu plus froid** (40% pour les deux). De même, un pourcentage de 20% des occupants préfèrent un environnement **beaucoup plus froid** par apport aux situations perçues.

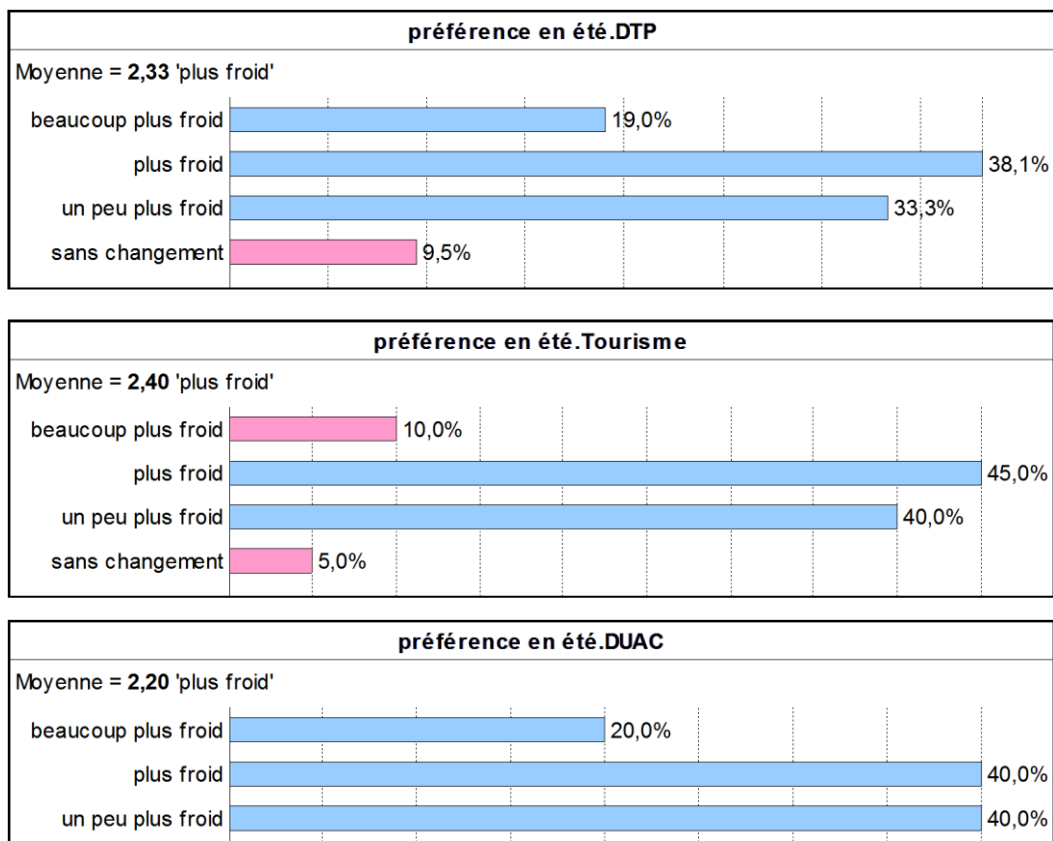


Figure IV.17: Votes de préférences thermiques en été.

IV.2.3 Le Jugement subjectif (Hiver) :

Dans la période d'hiver, en premier ordre, le vote de perception de la température ambiante par les usagers est jugé comme **légèrement froid** pour les deux cas (36% pour DUAC et 42.9% pour DTP). En deuxième ordre, on note une perception **froide** (24%) de l'environnement thermique pour le cas DUAC.

Cependant, dans le bâtiment DTP, une tranche de 23.8% des usagers sentent qu'ils ont **légèrement chaud** en hiver. Dans le cas de l'immeuble Tourisme, les employés sentent en générale qu'ils ont **froid** (45%) et légèrement froid (30%) pendant la période d'hiver.

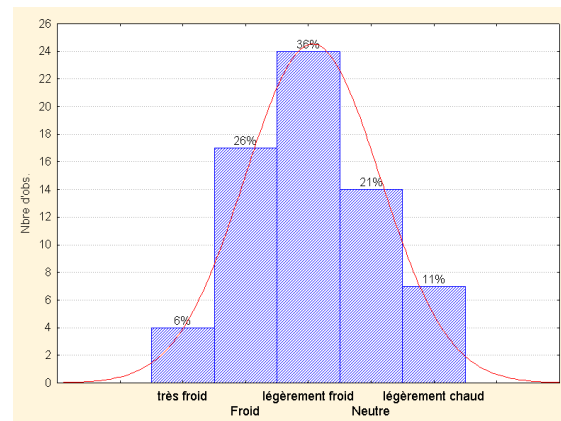
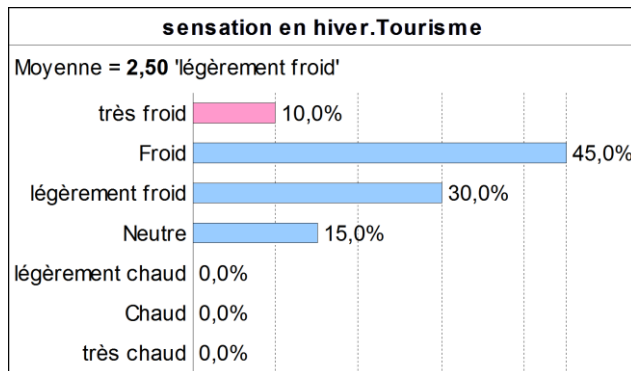
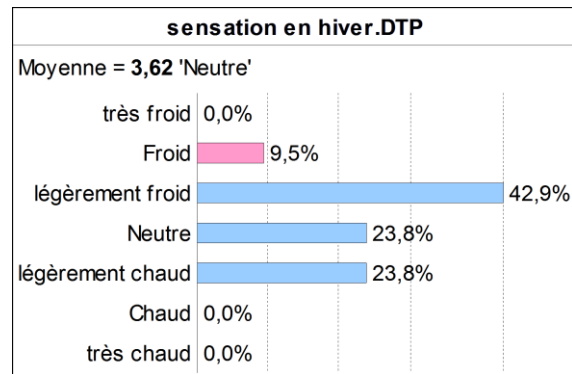
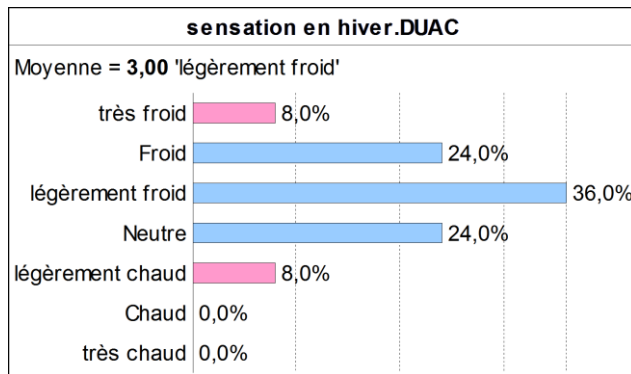


Figure IV.19: Votes de perception thermique en Hiver.

Figure IV.18: Synthèse des trois votes. Hiver

Pour le vote d'évaluation de l'ambiance thermique dans les trois bâtiments, les occupants évaluent l'état thermique dans le sens convergent entre légèrement inconfortable et confortable

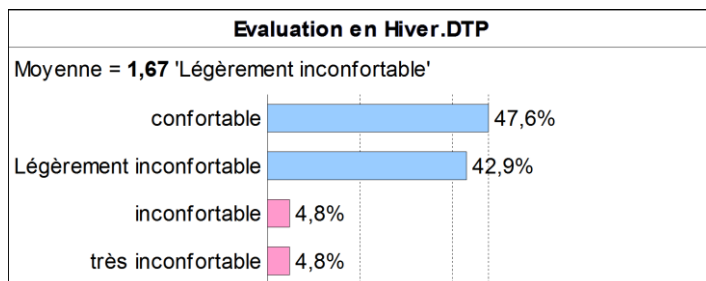
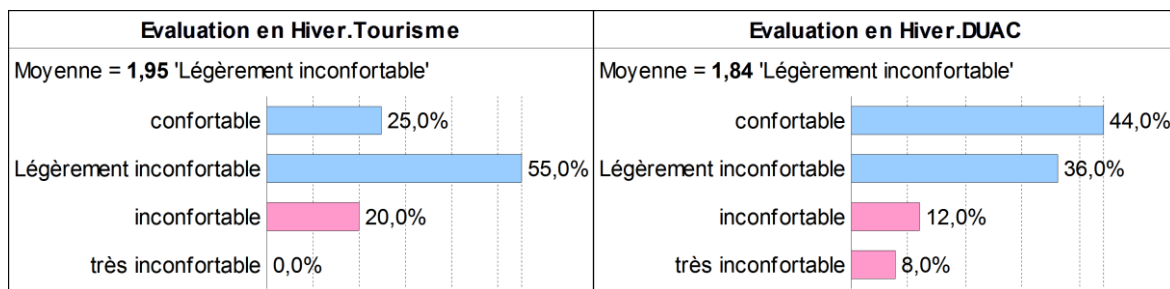


Figure IV.20: Votes d'évaluation de l'ambiance thermique en Hiver.

IV.2.3.1 Vote de préférence :

En général, les occupants dans les trois bâtiments déclarent un vote de préférence en hiver un peu plus chaud par rapport aux conditions thermiques vécus.

Un pourcentage est assez important d'effectif (57.1% pour le cas DTP, 48% pour le cas DUAC) préfèrent conserver les conditions thermiques en hiver comme elles sont. Ceci s'explique par le pourcentage de vote d'évaluation précédent de personnes qui évaluent leur climat intérieur en hiver comme étant confortable (voir Figure IV.20).

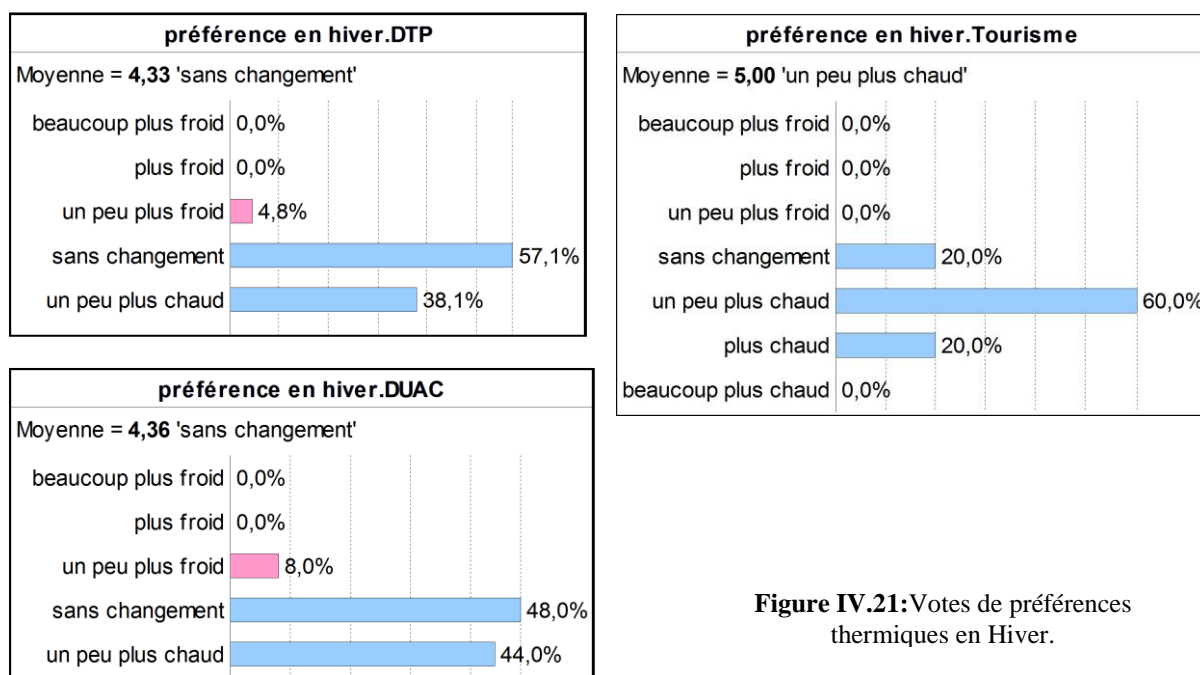


Figure IV.21: Votes de préférences thermiques en Hiver.

IV.2.4 Jugement d'acceptabilité :

Le jugement d'acceptabilité consiste à s'adresser par une question directe au sujet sur l'acceptabilité des conditions de température intérieure, en se basant sur une échelle de quatre positions, allant d'acceptable jusqu'à inacceptable. En ce qui concerne le jugement dans la période d'été, dans le cas de bâtiment DUAC, 56% des occupants jugent comme inacceptable, 32% jugement comme légèrement inacceptable. La même répartition du jugement on la trouve dans le cas de bâtiment DTP, en effet, 38.1% se positionnent au point inacceptable, 33.3% jugent légèrement inacceptable. Pour le cas du bâtiment Tourisme, un pourcentage de 45% des usagers montre un jugement légèrement acceptable par rapport à ceux de 35% jugent inacceptable.

En général, dans les trois cas d'étude et selon les critères d'échantillons dans chaque cas, la plupart des personnes enquêtées, déclarent deux jugements distincts vis-à-vis les conditions de température intérieures en été, le premier est la position **inacceptable**, la deuxième est celle **légèrement inacceptable**.

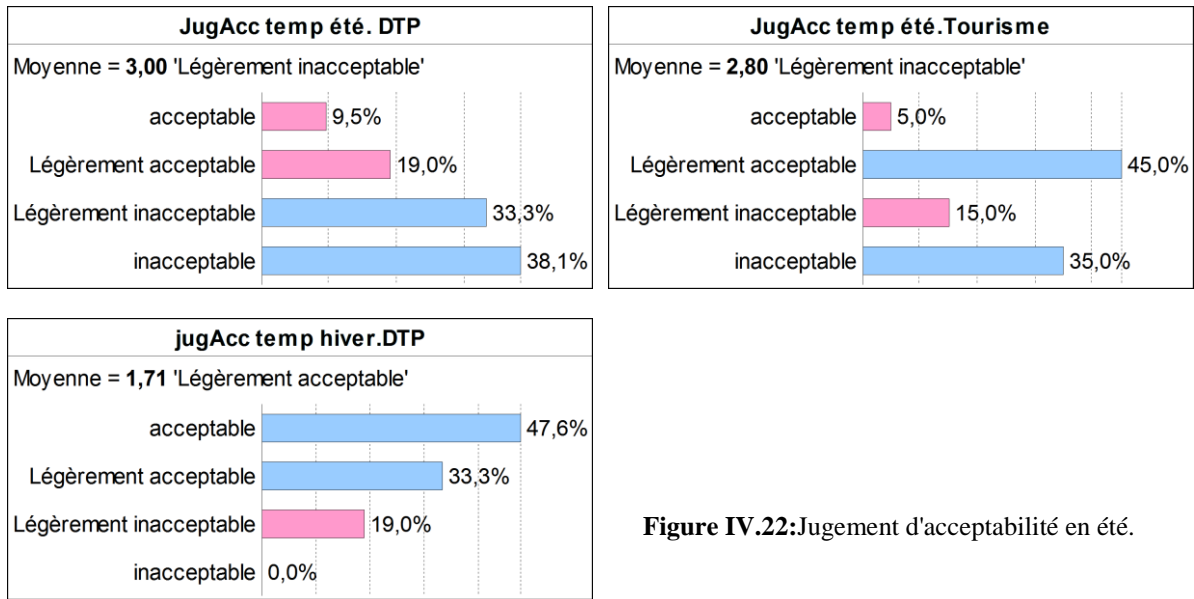


Figure IV.22: Jugement d'acceptabilité en été.

Dans le cas d'hiver, la majorité des usagers affirment un jugement acceptable (47.6% cas DTP, 52% cas DUAC) et légèrement acceptable (60% cas Tourisme, 33.3 cas DTP).

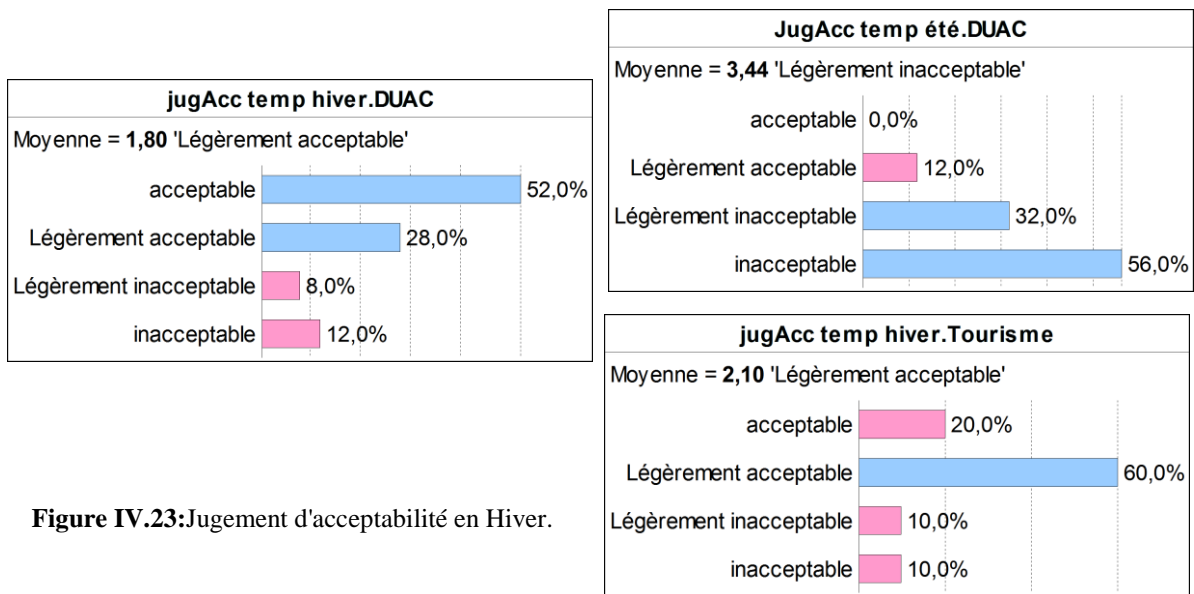


Figure IV.23: Jugement d'acceptabilité en Hiver.

IV.2.5 Le jugement Evaluatif :

Un autre jugement a été mesuré chez les occupants, celui évaluatif. L'objet de cette évaluation est le jugement des caractéristiques de la baie notamment sa dimension, son orientation (tache solaire) et l'effet de la protection intérieure sur le degré de la sensation d'un changement dans la température intérieure. Pour le premier indice qui est **la dimension**, il est demandé aux usagers de juger la dimension de leurs fenêtres suivant une échelle de cinq, allant de trop petite jusqu'à trop large. L'analyse descriptive des résultats montre que les usagers jugent la dimension de leurs baies vitrées comme étant large. 55% dans le cas de bâtiment tourisme, 47.6% dans le cas la DTP et 64% à la DUAC. Le pourcentage d'effectif qui porte un jugement évaluatif **adéquat** sur la dimension de la baie ne dépasse pas le 30% dans les trois bâtiments.

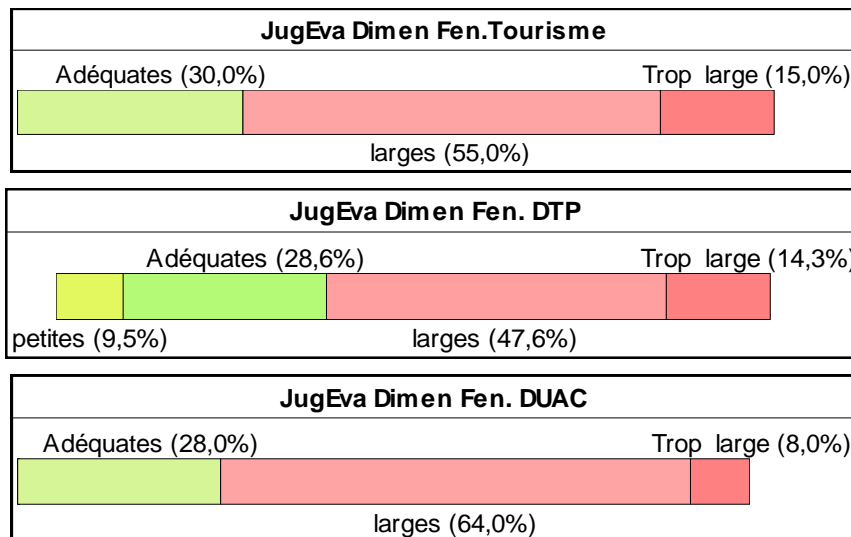


Figure IV.24: Jugement évaluatif en pourcentage de la dimension de la baie.

Le deuxième indicateur pour le jugement évaluatif est l'effet lorsqu'il y a une présence du soleil à l'intérieur du bâtiment, sur le changement de température ambiante. Un nombre important des usagers (64%) déclarent que leurs bureaux deviennent plus chauds **souvent** quand il y a du soleil à l'intérieur. Une part de 29% juge par **parfois**, c'est dire parfois le rayonnement solaire incident à l'intérieur chauffe le bureau. Parmi les observations qu'on constatées lors de notre présence in situ, c'est que l'absence d'ombre sur les surfaces vitrées est une cause plus remarquable pour ce réchauffement comme il est expliqué par B. Givoni, « *When windows are not shaded, or when the shading is not effective, solar radiation enters through the windows and directly heats the building interior.* » (Givoni 1998, 64).

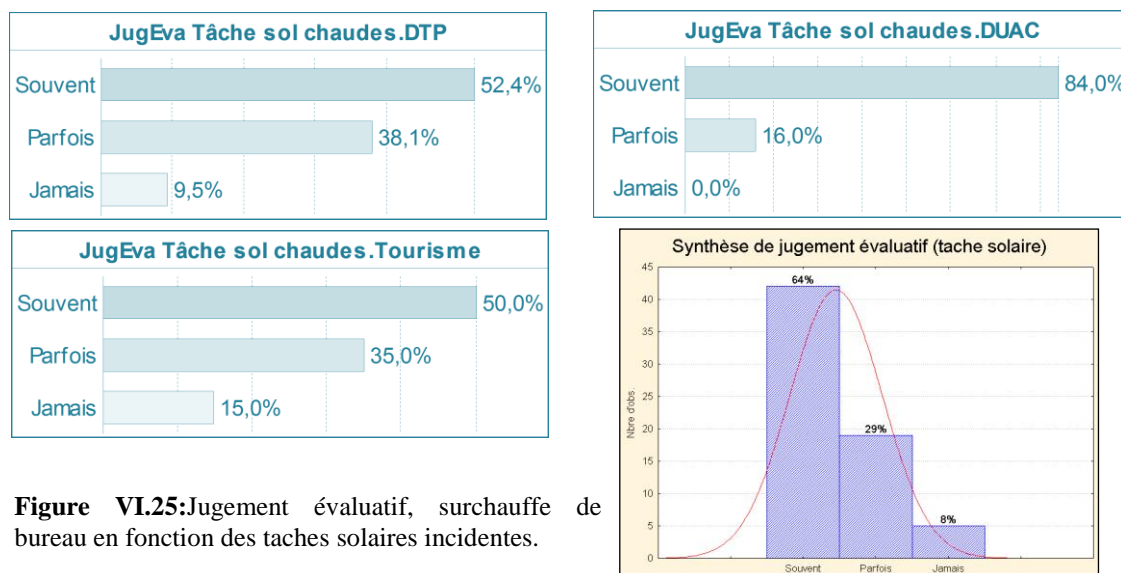


Figure VI.25: Jugement évaluatif, surchauffe de bureau en fonction des taches solaires incidentes.

Le troisième indicateur mesuré chez les usagers, est l'effet de la protection intérieure sur le changement de la température ambiante. Cette évaluation est caractérisée seulement dans deux bâtiment (la DTP et la DUAC), les bureaux du bâtiment Tourisme ne possèdent pas de des protections. La question est posée sur deux étapes, au début on demande à l'utilisateur de qualifier le changement de température lors du déploiement du rideau (store), en suite, il porte son jugement. D'après les résultats, les rideaux (stores) n'offrent pas une protection marquante chez l'utilisateur, la majorité (57%) perçoit un peu de changement dans les conditions

thermiques lors de déploiement des rideaux (stores), même dans les autres cas (33%) ne perçoivent aucun changement. En deuxième étape de la question, on note que, la protection de la chaleur incidente à travers les baies par les rideaux est évaluée comme **moyenne** par 67% des usagers et **non-protectrice** de la chaleur par 26%.

D'une manière générale, malgré la présence des rideaux dans le cas de ces deux bâtiments, ces dispositifs intérieurs ne peuvent pas protéger de manière efficace les occupants de la surchauffe causée par les rayons solaires à travers les baies vitrées.

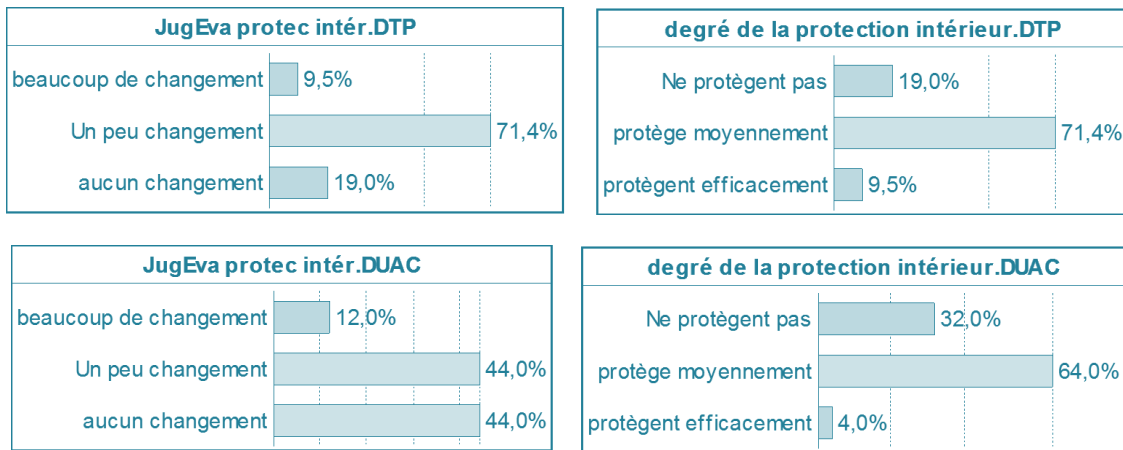
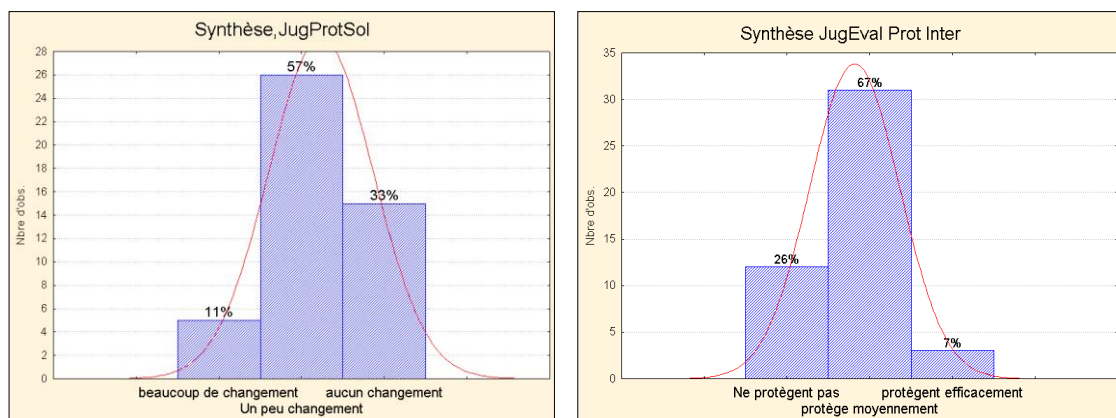


Figure IV.26: Jugement évaluatif, effet des rideaux.



Pour pouvoir caractériser les moments dans la journée dans lesquels la présence des taches solaires augmente la température intérieure, on fait une lecture croisée entre l'orientation des baies et la présence des taches solaires à l'intérieur, les résultats sont donnés par les graphs (Figure IV.27) ci-dessous. Les moments de la journée sont déterminés par une question à l'utilisateur en lui demandant de préciser le moment de pénétration du soleil.

On remarque que les temps les plus défavorables des taches solaires dans l'après-midi en été surtout, sont dans les bureaux qui ont des baies orientées sud-est, sud-ouest dans le bâtiment tourisme, Sud-sud-ouest et Sud-sud-est dans le bâtiment DUAC, et Sud-sud-ouest et Sud-sud-est pour le bâtiment DTP. Pour la matinée en été, une tache solaire est importante marquée dans les bureaux orientés Est-sud-est dans le bâtiment DUAC, et ceux orientés Est dans le bâtiment Tourisme. Ces temps, sont les moments de la journée qui influent directement sur le confort thermique des usagers, en réchauffent l'espace intérieur en été, durant la période du travail.

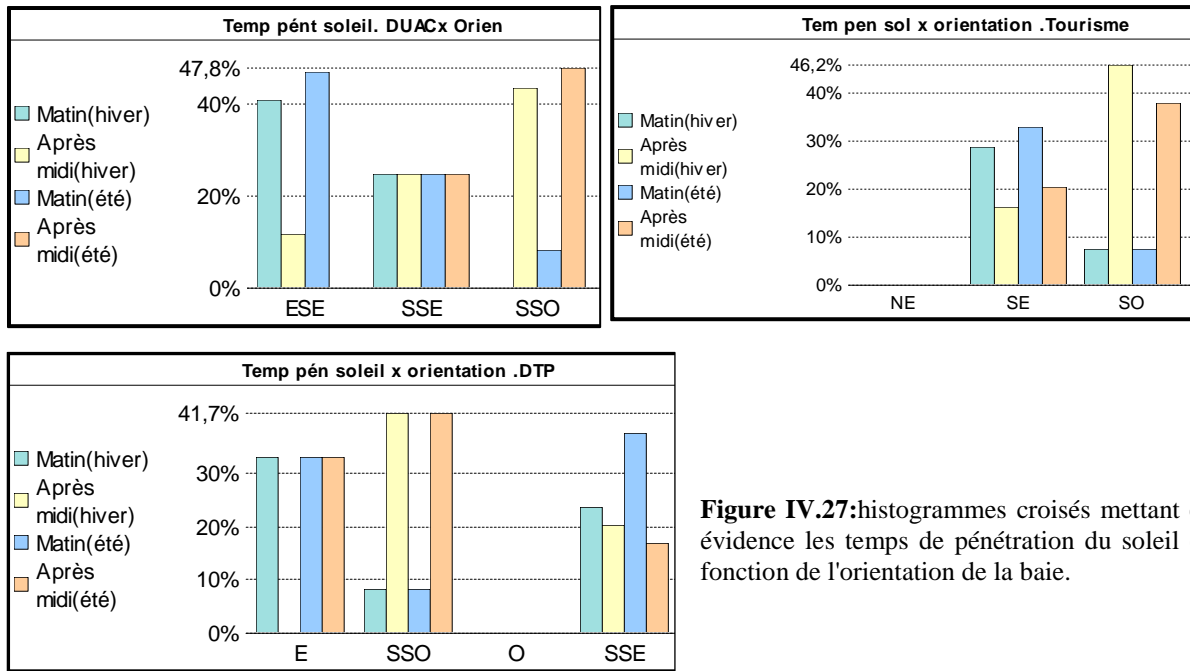


Figure IV.27: histogrammes croisés mettant en évidence les temps de pénétration du soleil en fonction de l'orientation de la baie.

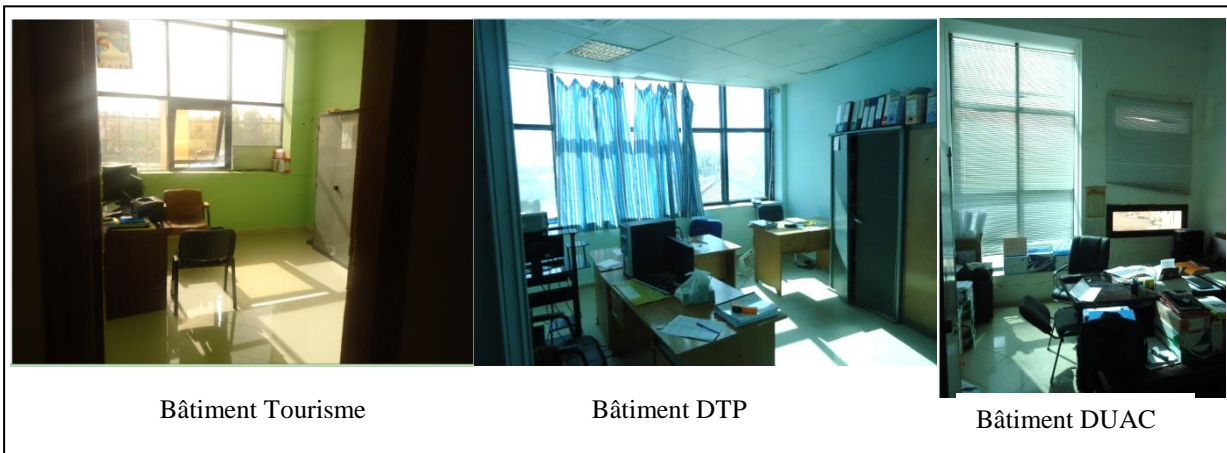


Figure IV.28: présence des taches solaire à l'intérieur des bureaux.

IV.2.6 Satisfaction :

La mesure de la satisfaction des employés a été effectuée envers leur environnement thermique en ce qui concerne la fraîcheur en été (confort d'été), comme chaleur en hiver (confort d'hiver), la dimension des fenêtres et l'aération. La mesure est élaborée en fonction d'une échelle de cinq allant de Non satisfait jusqu'à Très Satisfait.

IV.2.6.1 Confort d'été et confort d'hiver :

Dans le bâtiment Tourisme, les employés ne sont pas satisfaits de la fraîcheur en été ce qui représente un pourcentage de 45%, et ceux qui sont un peu satisfaits représentent 35%. La même remarque pour les deux autres bâtiments, 76.2% des usagers ne sont pas satisfaits des conditions de confort en été dans le bâtiment DTP, et 64% pour le bâtiment DUAC.

En ce qui concerne le confort thermique en hiver, les usagers montrent leur satisfaction des conditions thermique en hiver, (48% dans le cas DUAC, 35% cas Tourisme). Un pourcentage assez important (38%) de personnes enquêtées dans le cas de la DTP, se montrent très satisfaits des conditions thermiques en hiver.

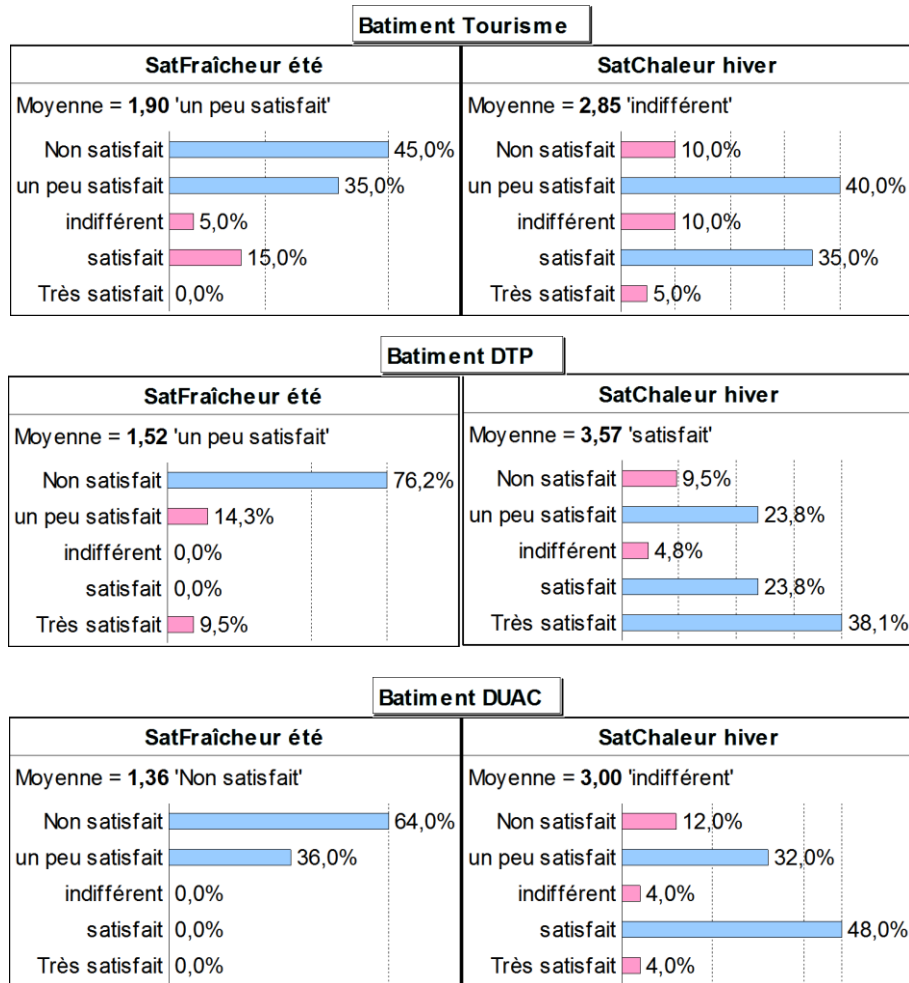


Figure IV.29: Satisfaction des employées vis-à-vis les conditions thermiques en Été et en Hiver.

IV.2.6.2 Dimension de la baie et aération :

Les résultats révèlent qu'un nombre important des usagers (40% dans le cas Tourisme, 47.6% cas DTP) ne sont pas satisfaits de la dimension des baies vitrées. Dans le bâtiment DUAC, 36% sont peu satisfaits et 28% déclarent leur **insatisfaction** de la surface vitrée. En moyenne, dans les trois cas d'étude, la plupart (62%) de personnes ne sont pas satisfaites des dimensions de fenêtres.

En ce qui concerne l'aération, la majorité des usagers (55% cas Tourisme, 47.6% cas DTP, 36% cas DUAC), sont **satisfaits** de l'aération. Une tranche de 20% de personnes dans le cas de la DUAC, déclarent un **non** ou **peu de satisfaction** vis-à-vis l'aération. Lors de la prise des mesures au niveau de cet établissement, on a observé qu'il y avait des bureaux qui ont des baies vitrées ne possédant aucun ouvrant, seulement des petites en forme rectangulaire qui sont installées indépendamment. Cette observation in situ, peut expliquer le manque d'aération au niveau de ces espaces qui a été signalée par l'insatisfaction des usagers.

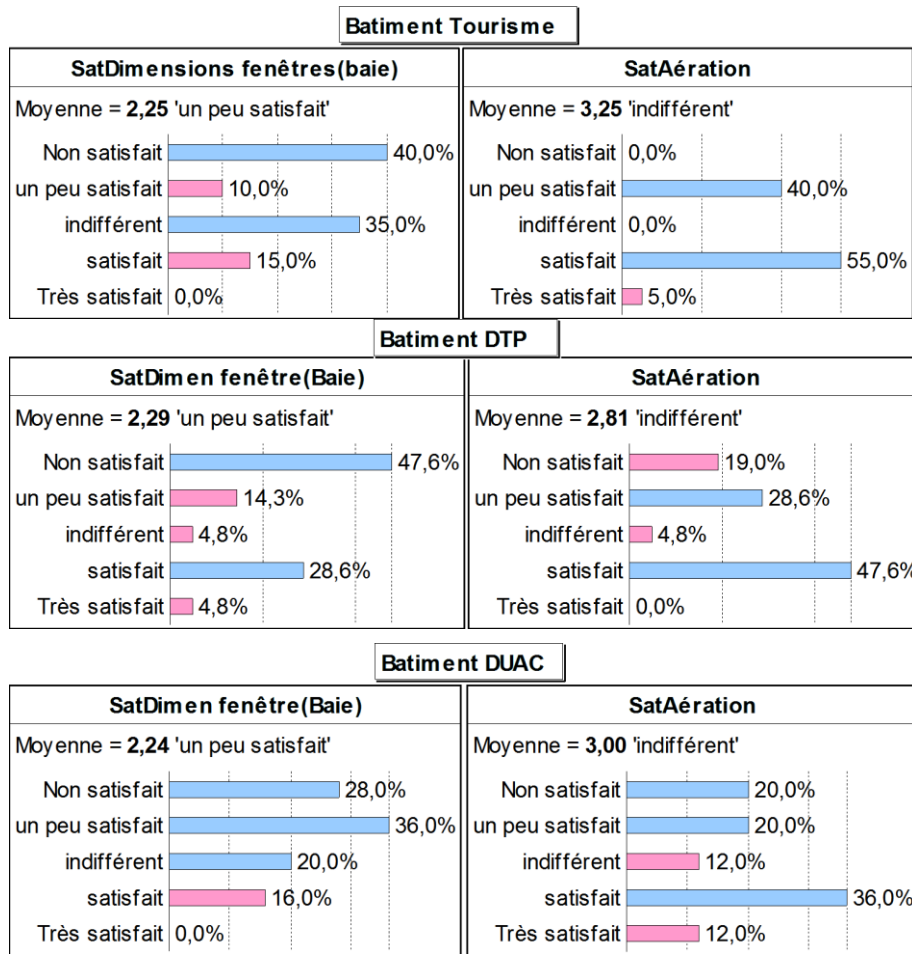


Figure IV.30: Satisfaction des usagers vis-à-vis la dimension de la baie et l'aération.

IV.2.7 Importance :

L'importance d'avoir une baie vitrée dans le bureau a été examinée chez l'utilisateur à travers une échelle de cinq degrés. Avoir une baie dans l'espace bureau est assez important dans les trois cas d'étude chez 38.1% des employés de la DTP, 35% chez ceux de Tourisme et 40% dans le cas DUAC. Ensuite, les autres usagers se réparties entre peu important (35% cas Tourisme, 32% cas DUAC), important et très important (19%) dans le cas DTP.

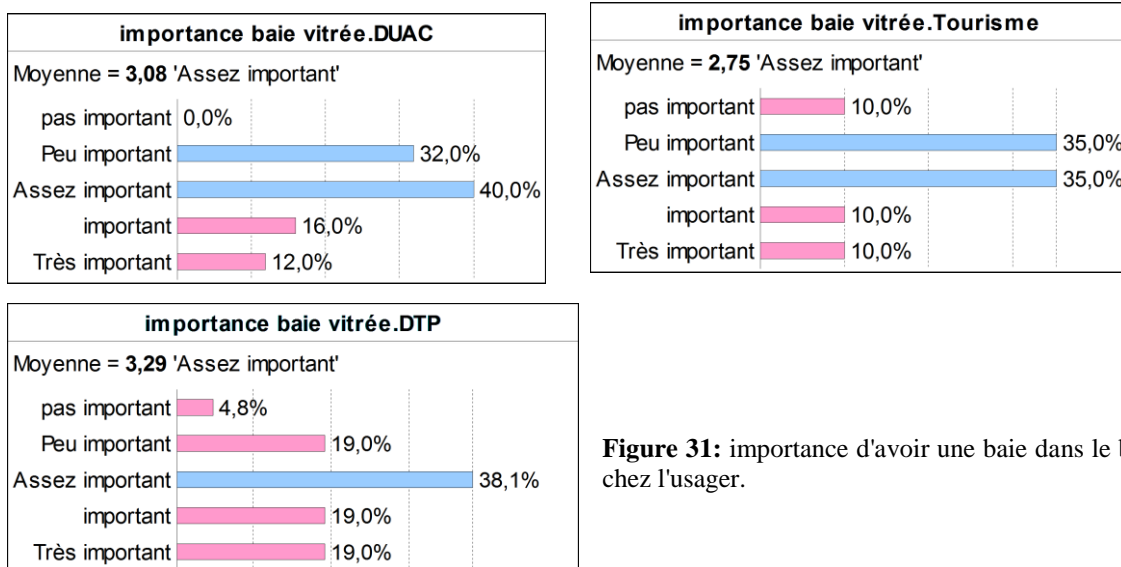


Figure 31: importance d'avoir une baie dans le bureau chez l'utilisateur.

IV.2.8 Les conduites comportementales : adaptation comportementale

Comme nous l'avons déjà cité (chapitre I. Section 5.2.2), une adaptation comportementale implique tous les changements que l'individu accomplit dans le but de s'ajuster à son environnement. (Changement d'habillement, position dans l'espace, ouvrir/fermer une fenêtre, ...). L'utilisateur fait certains ajustements pour réduire un état d'inconfort thermique.

Les actions comportementales que nous allons recueillir dans ce qui suit sont : i) Le changement de poste de travail dans le bureau, ii) Changement de bureau dans le bâtiment, iii) Ouvrir/fermer une fenêtre ou porte, iv) L'Occultation des taches solaires transmises par la baie à travers des objets (papier, meuble), v) Le déploiement (étalage) des rideaux/store, vi) Le recours aux moyens mécaniques.

IV.2.8.1 Les usagers dans le bâtiment DUAC :

Dans les bureaux du bâtiment DUAC, les actions comportementales sont dans l'ordre suivant : la majorité des usagers ont recours aux moyens mécaniques en premier lieu pour ajuster leur confort, ils représentent 92% du pourcentage total, ensuite ils utilisent les rideaux pour occulter les baies vitrées des rayons solaires transmis (88% de la population enquêtée). Après ces deux premières actions, un nombre important de personnes, utilisent les ouvrants des fenêtres ou des portes pour modifier l'air intérieur (68% de l'échantillon). 60% des employés interviewés changent leur poste de travail dans le même espace de bureau où ils se trouvent. Une partie plus du demi (52%) des employés changent leur espace de travail, ils partent travailler dans d'autres bureaux. Un nombre de 20% parmi cette population, voilent les rayons solaires aux moyens d'objets pendant le travail.

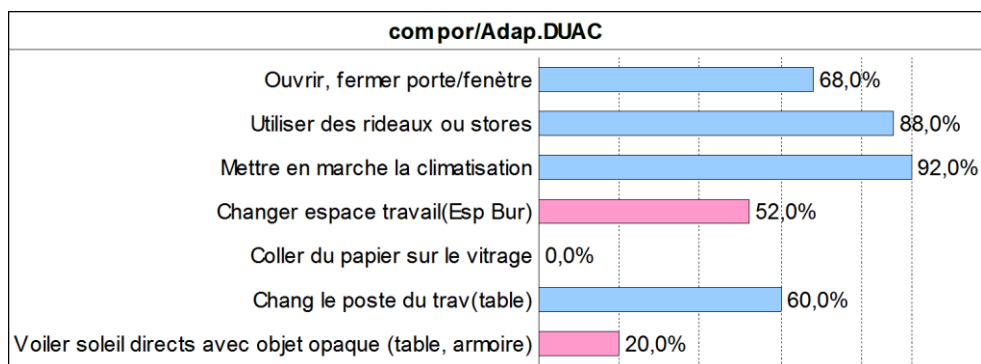


Figure IV.32: pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. DUAC



Ouvrir l'ouvrant de la fenêtre



Change le poste



Utiliser des objets

IV.2.8.2 Les usagers dans le bâtiment DTP :

Dans le bâtiment DTP, trois principales actions comportementales ont été affirmées par les usagers. Après la première action utilisée par la plupart des usagers (95.2% des usagers enquêtés) qui est le recours aux moyens mécaniques (climatisation), l'utilisation des rideaux et les ouvrants (fenêtre/portes) viennent dans le deuxième ordre. Plus de 81% des employés qui ont participé à cette enquête, recourent à ces deux ajustements comportementaux. Un pourcentage de 38% de la population totale fait changer le poste de travail à un autre dans le même espace bureau. Les personnes qui changent leur bureau sont présents dans ce cas 14% de l'échantillon.

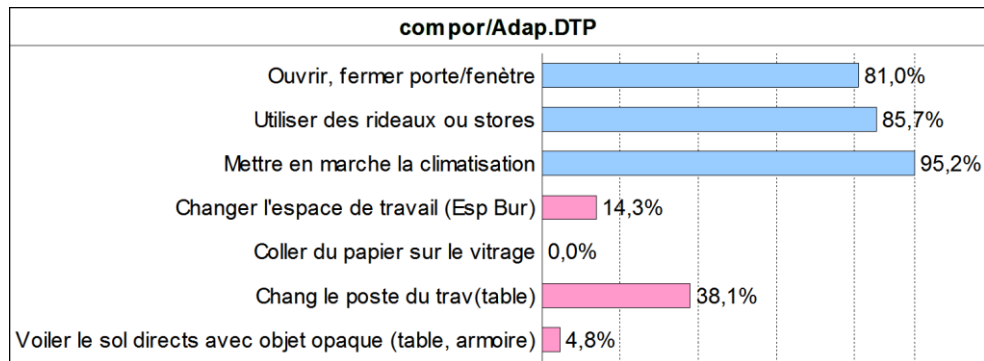


Figure IV.33: le pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. DTP.

IV.2.8.3 Les usagers dans le bâtiment du siège de Tourisme :

Dans ce cas d'étude, la totalité (100%) de l'échantillon recourt aux moyens mécaniques pour ajuster son confort thermique. 90% parmi eux ouvrent les portes et fenêtres pour rafraîchir l'air intérieur en évacuant l'air chaud. Le changement de poste du travail dans le même bureau comme geste comportemental est répondu par 70% des usagers. Une autre stratégie d'adaptation utilisée par les employés dans ce cas, est le collage du papier sur le vitrage des baies (60% suit cette action). Suite à une exploration faite avec les employés de cette direction, ils ont justifié cette action afin de limiter les rayons solaires qui viennent directement taper sur eux. Dans ce bâtiment, les baies des bureaux ne disposent aucune protection intérieure.

Ensuite, le changement de l'espace du travail (bureau), est un comportement pratiqué par 45% des usagers.

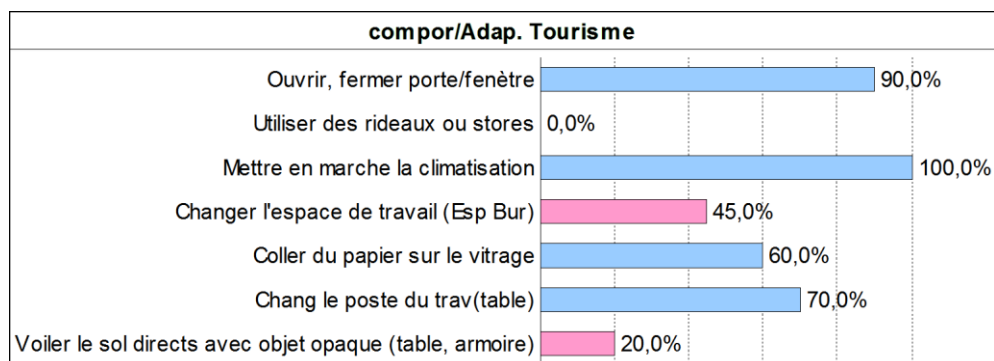


Figure IV.34: pourcentage ordonné des conduites comportementales des usagers. Tourisme.



Figure IV.35: Le collage du papier sur le vitrage comme conduite comportementale répandue chez les usagers. Bâtiment Tourisme.

IV.2.8.4 Synthèse :

Dans les trois cas d'étude, les occupants ont fait appel aux différentes stratégies d'adaptation pour améliorer leur confort thermique en été comme en hiver. Le comportement le plus adopté par la majorité des occupants est l'utilisation des moyens mécaniques (climatisation) durant une période assez importante dans l'année. Ensuite, dans d'autres situations, ils ouvrent les ouvrants des fenêtres et des portes pour créer un mouvement d'air en évacuant l'air chaud emmagasiné à l'intérieur ou ils les ferment lorsque l'air extérieur est chaud. Dans certains cas où la chaleur est très élevée dans la période estivale, l'utilisateur tend à changer soit son poste de travail en trouvant un autre espace plus confortable dans le même bureau, soit à changer l'espace de bureau, en allant travailler dans un autre bureau plus confortable par rapport à celui où il se trouve. En outre, l'étalement des rideaux intérieurs est une manière utilisée par l'utilisateur afin de limiter les rayons solaires directs qui viennent frapper directement les parois vitrées des bâtiments DUAC et DTP. « *Dans les périodes chaudes, les rayons solaires intenses tombent directement sur le vitrage de mon bureau, elles entrent à l'intérieur, ce que laisse mon bureau plus chaud, alors j'utilise les rideaux pour limiter ces rayons à entrer* ». (Un usager dans le bâtiment DTP, bureau donnant sur le Sud.). Comme ces dispositifs de rideaux n'existent pas dans le cas du bâtiment Tourisme, l'utilisateur recourt à coller le papier sur les surfaces vitrées de leurs bureaux, pour faire en sorte limiter le gêne causé par les taches solaires directes. Celles-ci, frappent directement les parois intérieures, les objets et l'occupant.

IV.3 L'Analyse croisée (Bi variée et multi variée) :

Dans cette section, nous allons examiner les relations entre les indicateurs relatifs à la baie notamment, son orientation, son indice d'ouverture dans le mur de façade et le dispositif de rideau intérieur avec les indicateurs subjectifs relatifs à l'utilisateur. Pour cela, on opte pour une analyse statistique croisée en se basant sur deux tests que sont, le Test de Spearman & Pearson et le test de Chi2. Ces tests ont été utilisés pour examiner le degré de corrélation et dépendance entre les variables qualitatives et quantitatives. Les résultats seront présentés en forme d'histogrammes et nuage de points pour l'analyse bi variée et cartes factorielles pour celle multi variée.

IV.3.1 Le bâtiment de la DTP :

IV.3.1.1 Orientation de la baie et le vote de sensation en été :

L'étude se fait entre les deux variables qualitatives l'orientation de la baie vitrée (nominale) et le vote de sensation en été (ordinaire) dans le cas du bâtiment DTP, en réalisant une analyse croisée des deux variables.

Selon les résultats graphiques, il est apparu que le grand nombre de personnes qui déclarent une sensation chaude et très chaude sont ceux localisés dans des espaces où leurs baies sont orientées **Sud-sud-est**. Ces espaces de bureaux sont les plus défavorables en confort thermique dans la période estivale.

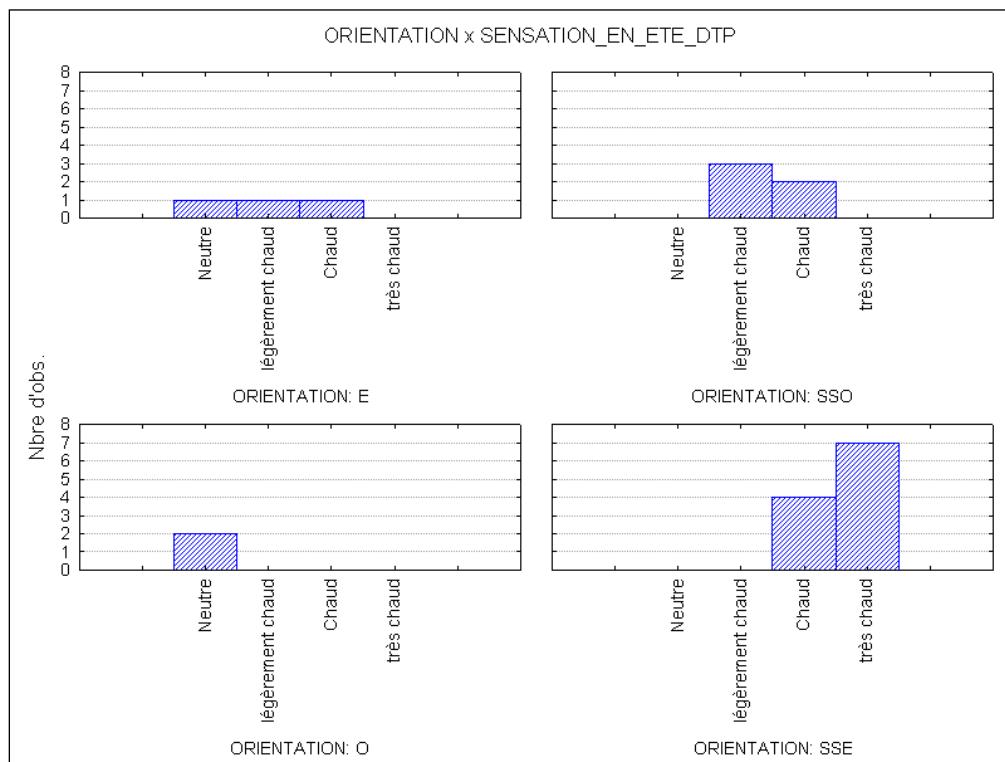


Figure IV.36: Histogramme catégorisé reliant l'orientation des baies et le vote de sensation en été. DTP

Le test statistique Chi2 montre une relation significative entre l'orientation et le vote de perception. Chi2 calculé (27.22) est supérieure au Chi2 seuil (16.91).

IV.3.1.2 Orientation et préférence

Les résultats, montrent que pour l'orientation **Est**, les préférences les plus souhaités sont des espaces plus spacieux et plus aérés. Pour l'orientation **Sud-sud-ouest**, les changements les

plus préférés par les usagers sont les espaces qui ont des surfaces plus spacieuses et un aménagement intérieur meilleur que celui existant. En ce qui concerne les bureaux qui disposent des baies orientées **Sud-sud-est**, les employés préfèrent en premier stade des espaces moins exposés au rayonnement solaire, ensuite des baies moins petites que celles existantes. Les espaces les plus spacieux, sont aussi une préférence marquée pour ces usagers.

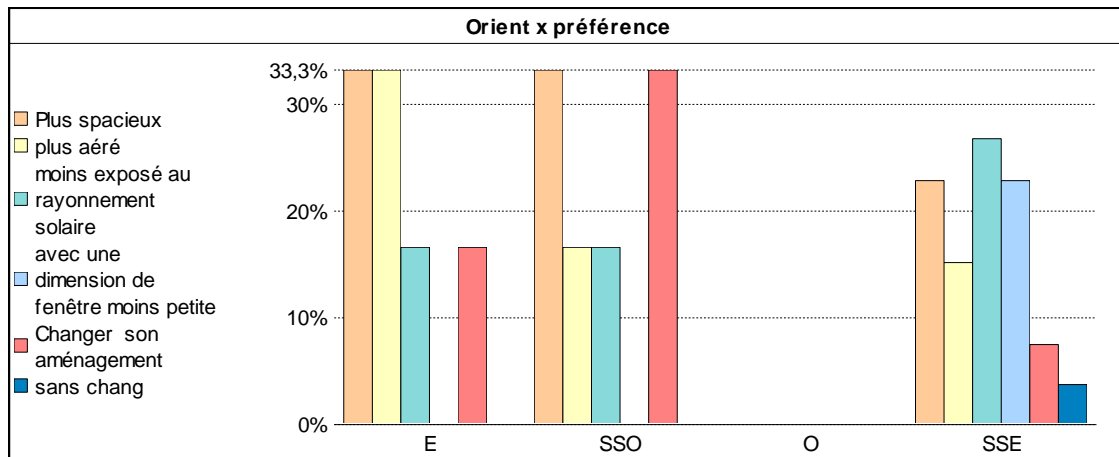


Figure IV.37: graphique montre les préférences des usagers en fonction de l'orientation.

IV.3.1.3 Orientation de la baie et jugement d'acceptabilité :

En été, dans les bureaux dans l'orientation **Est**, le jugement des conditions du confort thermique est **légèrement acceptable**. Aussi, dans ceux **Ouest**, le jugement est **acceptable**. En ce qui concerne les espaces qui donnant sur la direction **Sud-sud-ouest**, les conditions des ambiances thermiques est jugé légèrement inacceptable. Les espaces orientées **Sud-sud est se** caractérisent par un jugement inacceptable.

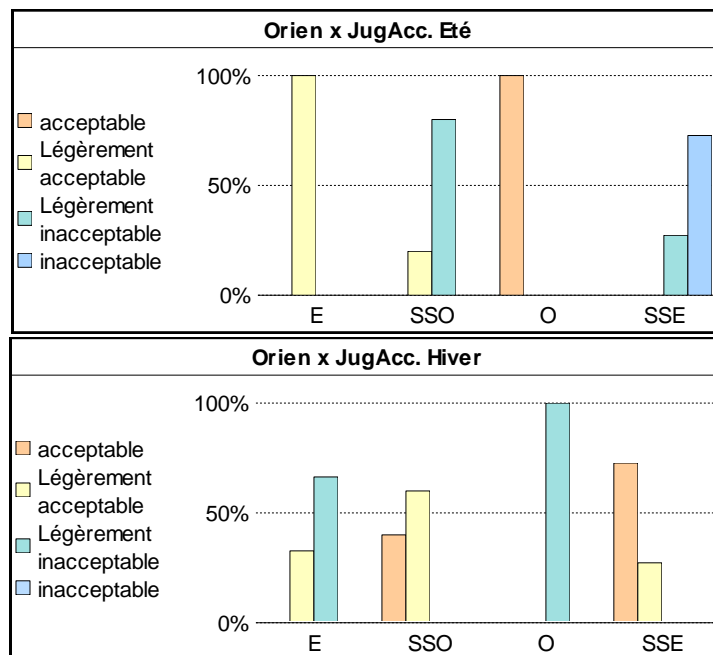


Figure IV.38: le jugement d'acceptabilité (Eté/Hiver) en fonction de l'orientation de la baie. DTP.

En hiver, dans les orientations **Ouest et Est**, le jugement est légèrement inacceptable. Pour l'orientation **Sud-sud-ouest**, le jugement est signalé légèrement acceptable. Dans celle, **Sud-sud-est**, un jugement acceptable est marquant.

Les conditions thermiques sont inacceptables en période d'été notamment dans les bureaux qui donnent sur la direction Sud-sud est, par contre, en hiver elles sont acceptables. Ces espaces sont soumis au rayonnement solaire de grande amplitude qui réchauffe l'air ambiant intérieur.

La corrélation est positive **moyenne** entre les deux variables (orientation, jugement d'acceptabilité). Une valeur de coefficient Rho de Spearman égale **0.74**, a été enregistrée.

IV.3.1.4 Orientation de la baie et satisfaction en été.

Les indicateurs de satisfaction sont influencés par les orientations des baies, d'où, une **non satisfaction** signalée par des usagers envers la fraîcheur en été est marquée dans les deux orientations Sud-sud est et Sud-sud-ouest (Figure IV.39).

Une corrélation **négative et faible** ($Rh\hat{=} -0.23$) a été enregistrée par le test du coefficient de Spearman entre ces deux indicateurs.

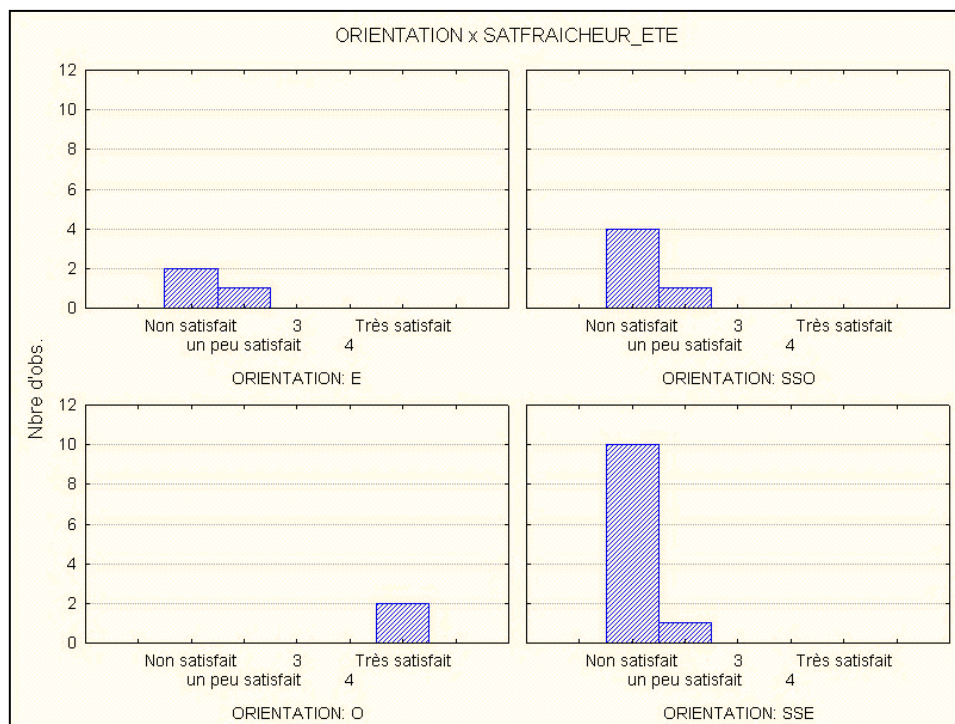


Figure IV.39 : Histogramme catégorisé reliant l'orientation de bureau et la satisfaction envers la fraîcheur en Été. DTP

En hiver, une satisfaction des usagers envers la température intérieure ambiante, été marqué dans les directions ouest Sud-sud-ouest et Sud-sud-est. A l'est, les employées sont insatisfaites.

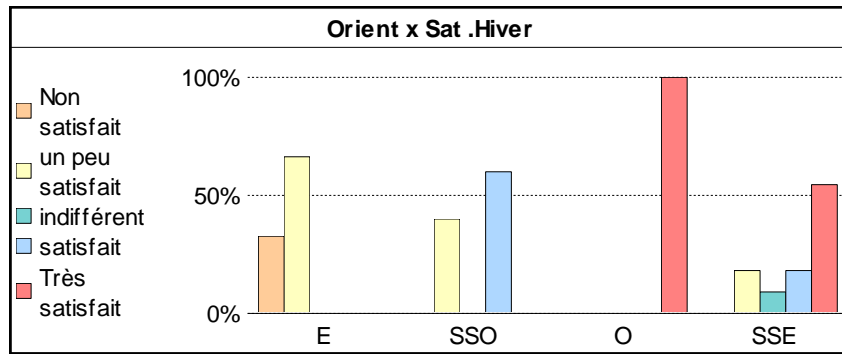


Figure IV.40: la Satisfaction en hiver en fonction de l'orientation de l'espace bureau.

IV.3.1.5 Dimension de la baie (indice d'ouverture) et vote de perception

Les tests statistiques montrent une corrélation **positive forte** entre la dimension de la baie et le vote de perception de la température en été. (Valeur de coefficient de Spearman Rhô= 0.80, test Chi2 **calculé** = 14.12 Chi2 **seuil** = 7.81, **ddl**=3). Dans les espaces où les surfaces vitrées sont dans l'ordre de 69% de surface de mur de façade, le vote de perception de la température en été est jugé **très chaud** et **chaud**. Tandis que, les bureaux dont les surfaces vitrées de l'ordre de 18% de la surface totale de mur de façade, est et Sud-sud-ouest, le jugement subjectif des usagers est **légèrement chaud**.

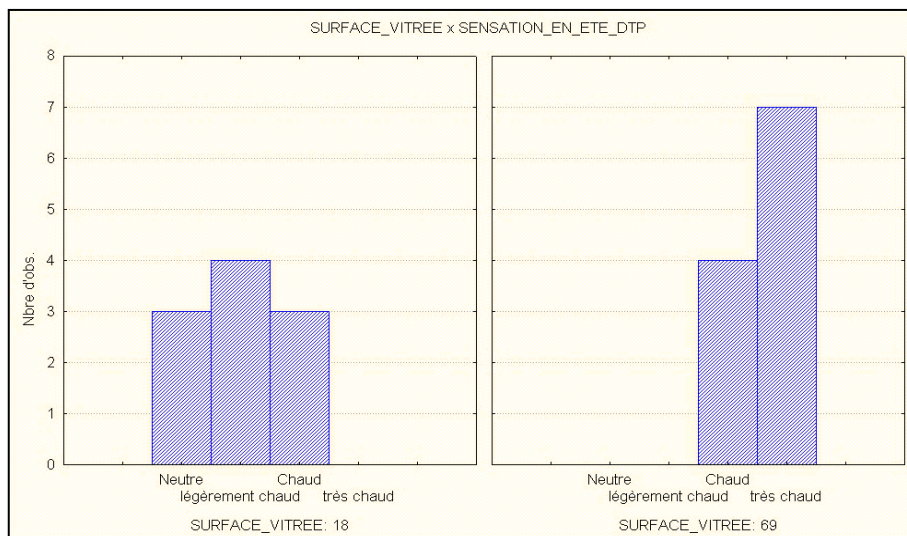


Figure IV.41:Histogramme catégorisé reliant la dimension de la baie et le vote de perception en été.DTP.

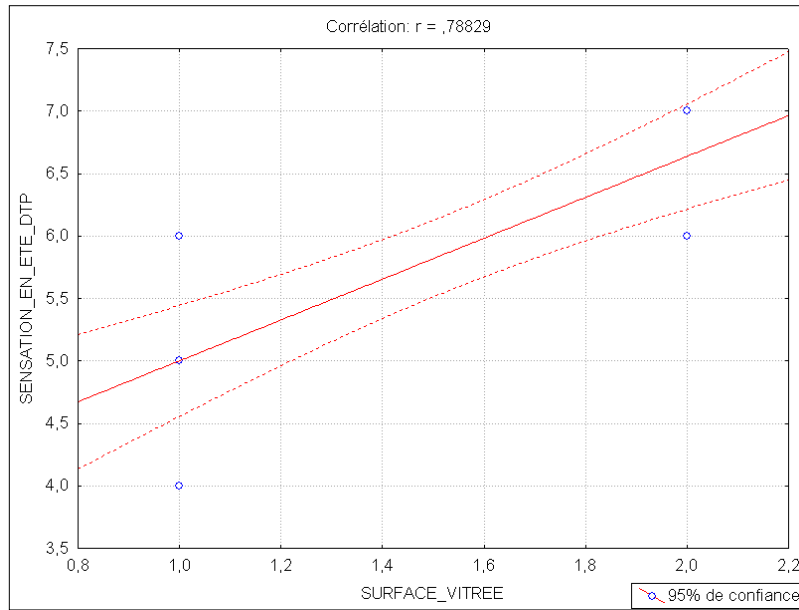


Figure IV.42 : nuage de points, reliant la dimension de la baie et le vote de perception en été. DTP.

IV.3.1.6 Dimension de la baie et préférences de changement :

La relation entre les deux variables (dimension de la baie et préférences de l’usager) n’est pas significative (Rho Spearman = 0.11, Rho Pearson =0.10)). Les employés préfèrent travailler dans espaces plus spacieux et plus larges dans les deux cas (baie de 69%de surface, baie de18% de surface.), sauf que, la préférence des espaces moins exposés au rayonnement solaire est marquée dans le cas des surfaces vitrées de 69% par rapport aux18% dont la préférence des espaces larges est le plus marqué.

Analyse du croisement :

Les usagers dans les espaces où la baie vitrée représente un pourcentage de 18% de la surface du mur de façade, préfèrent le travail dans des espaces avec des surfaces utiles plus spacieuses, aussi qu’ils soient plus aérés. Pour les bureaux qui possèdent des baies vitrées qui représentent 69% de la surface de mur extérieur, trois préférences ont été les plus marquées, elles figurent somme suit : un bureau moins exposé au rayonnement solaire direct, des surfaces vitrées de dimension plus petites par apport aux celles existant et la préférence de travailler dans des espaces plus larges.

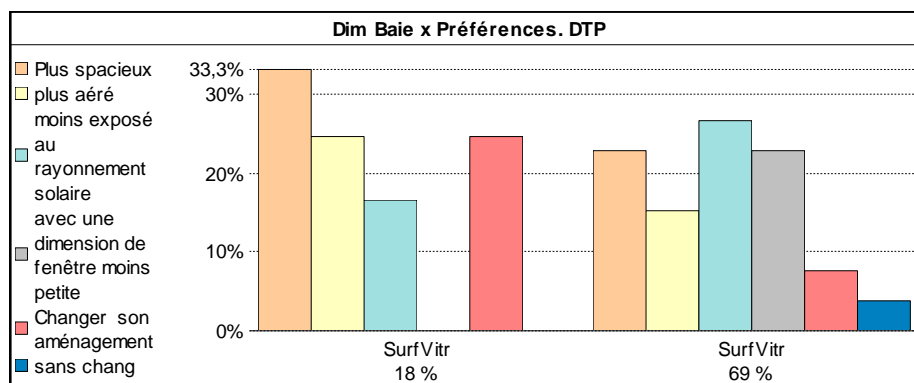


Figure VI.43: Histogramme croisé, reliant la dimension de la baie et les préférences. DTP

IV.3.1.7 Dimension de la baie et son jugement évaluatif :

Le résultat de test corrélation montre une relation **positive peu forte** entre les deux indicateurs ordinaux ; dimension de la baie et jugement évaluatif. (Valeur de Coefficient de Pearson Rhô= 0.76). Les baies qui ont un pourcentage de 18% de la surface du mur de façade sont jugées comme étant adéquate. Celles qui représentent une surface 69% de la surface totale du mur extérieur, jugées larges.

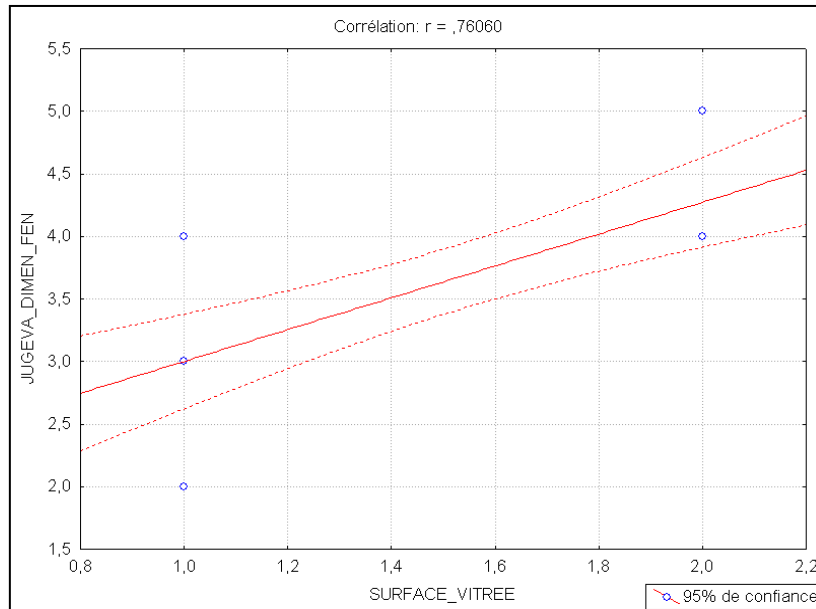


Figure IV.44: Nuage de points, reliant dimension de la baie et jugement évaluatif. DTP.

IV.3.1.8 Dimension de la baie et satisfaction en été et en hiver :

Une relation moyenne et **négative** a été trouvée par le test statistique de Pearson (**rho = -0.47**) entre la dimension de la baie et la satisfaction de l’usager vis-à-vis la fraîcheur en journée d’été.

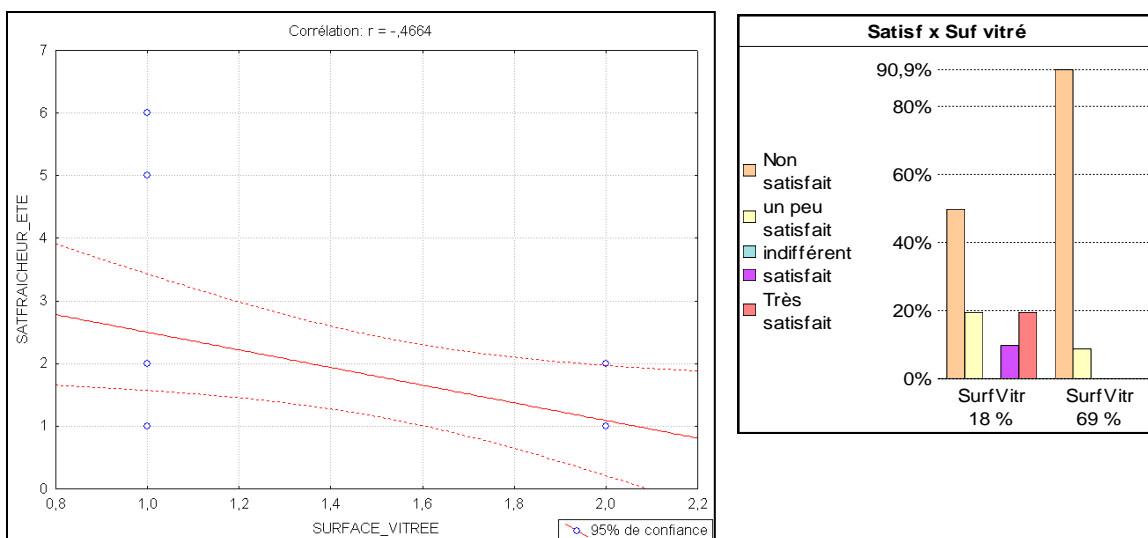


Figure IV.45:nuage de points et histogramme, reliant la satisfaction en été et la dimension de la baie. DTP

En effet, cette relation est marquée par le non satisfaction des personnes envers les conditions de la fraîcheur en été au sein de leurs espaces. D’ailleurs, un pourcentage important de ces personnes non satisfaites, est enregistré dans le cas des espaces de bureau possèdent un indice d’ouverture égale 69%, (voir Figure IV.45). Pour les conditions thermiques en hiver, il est trouvé qu’elles sont satisfaisantes chez l’usager dans les bureaux qui disposent d’un pourcentage de vitrage de 18% de mur de la façade. En ce qui concerne, les bureaux qui ont des surfaces vitrées de 69%, les usagers sont très satisfaits (Figure IV.46)

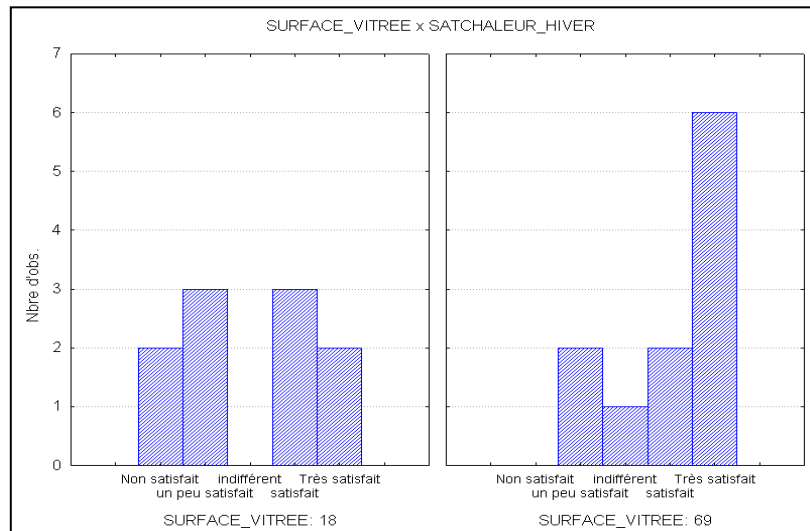


Figure IV.46: satisfaction des usagers en Hiver en fonction de la dimension de la baie. DTP.

IV.3.1.9 Dimension de la baie et le jugement d’acceptabilité :

Le test de corrélation de Pearson (Valeur de Coefficient de Pearson Rhô= 0.78), montre une relation **positive et forte** entre les variables : dimension de la baie et le jugement d’acceptabilité de la température en été. Les conditions de la température intérieure sont légèrement acceptables dans le cas des baies de 18% de surface. Et sont inacceptables dans le cas des baies de 69% de la surface murale.

En hiver, les conditions thermiques à l’intérieur des espaces dans les deux cas (18%, 69%), sont acceptables, pour les usagers de l’entreprise.

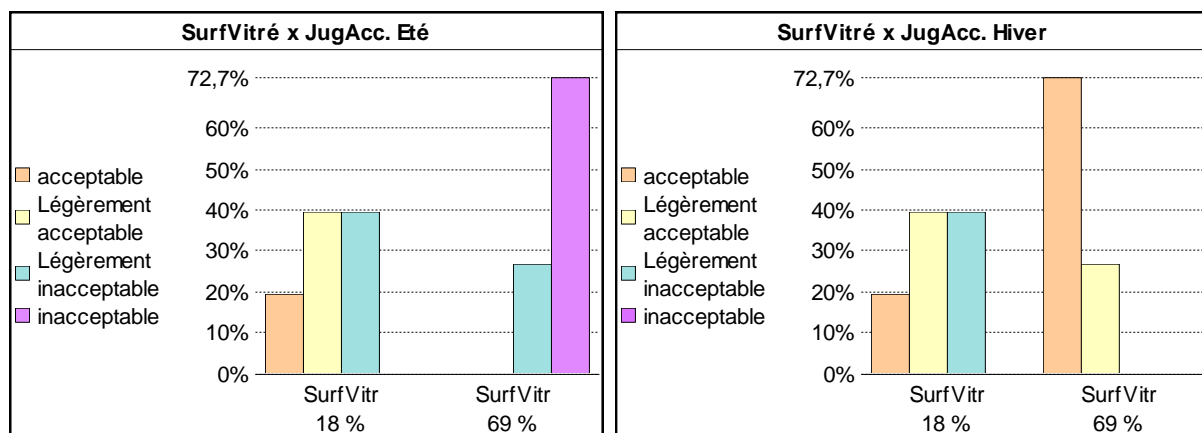


Figure IV.47:le jugement d’acceptabilité (Eté &Hiver) en fonction de la dimension de la baie vitrée. DTP.

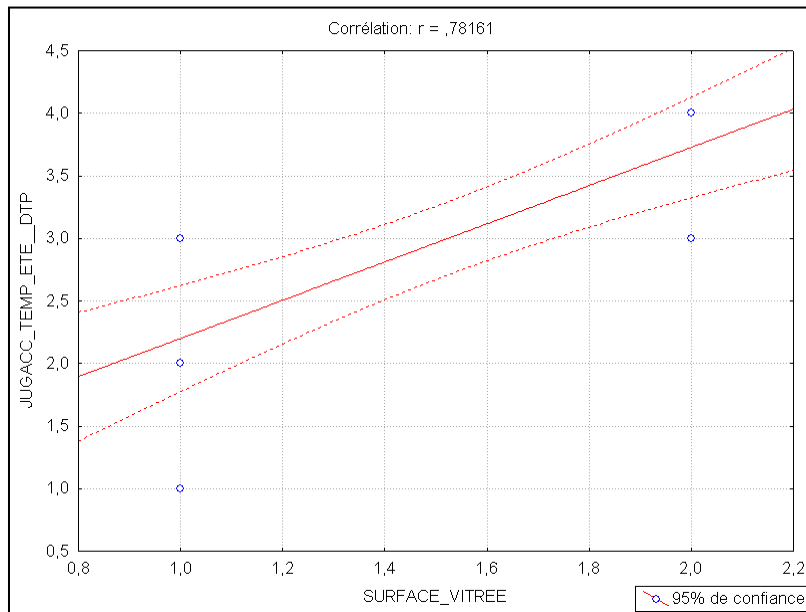


Figure IV.48:Nuage, reliant le jugement d'acceptabilité (été) et dimension de la baie. DTP

IV.3.1.10 Surface vitrée et le jugement Evaluatif d'une tache solaire :

Suivant les résultats obtenus par le test statistique de Spearman, il y a une relation significative négative ($R\hat{\theta} = -0.96$) entre le variable surface vitrée et le jugement évaluatif de l'effet de la tache solaire transmise. Le jugement de l'effet d'une tache solaire incidente à l'intérieur chauffe souvent l'air dans les bureaux qui ont une surface vitrée de l'ordre 69%. Tandis que, dans les espaces de l'ordre de 18% de la surface vitrée, une tache solaire passant à travers les vitre, n'est pas dans tous les cas une source de surchauffe. Il est rarement où elle est le cas.

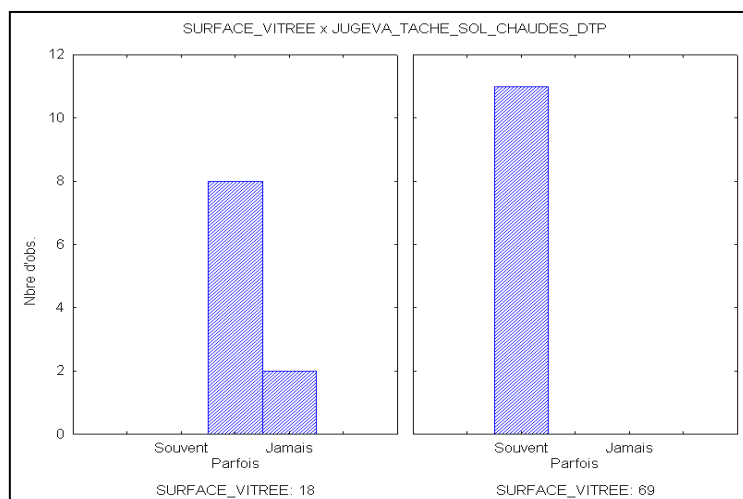


Figure IV.49:Jugement évaluatif d'une tache solaire incidente en fonction de la surface vitrée. DTP.

IV.3.1.11 Jugement évaluatif d'une protection intérieure (rideaux) et vote de perception :

Une relation très faible et négative ($Rh\hat{o} = -0.19$) entre ces deux variables (protection par les rideaux et la perception en été) a été trouvée par le test de Spearman.

Analyse du croisement :

Dans le cas d'un jugement d'une protection moyenne des rideaux, le vote de la sensation de la chaleur en été a deux ordres, chaud et très chaud. Par ailleurs, dans le cas, où l'effet des rideaux ne protège pas les usagers de la chaleur, la perception de la température de l'air en été est sentie légèrement chaude. Cependant, lorsque les rideaux offrent une protection efficace contre la chaleur, les usagers sentent les ambiances thermiques en été ni chaud ni froid.

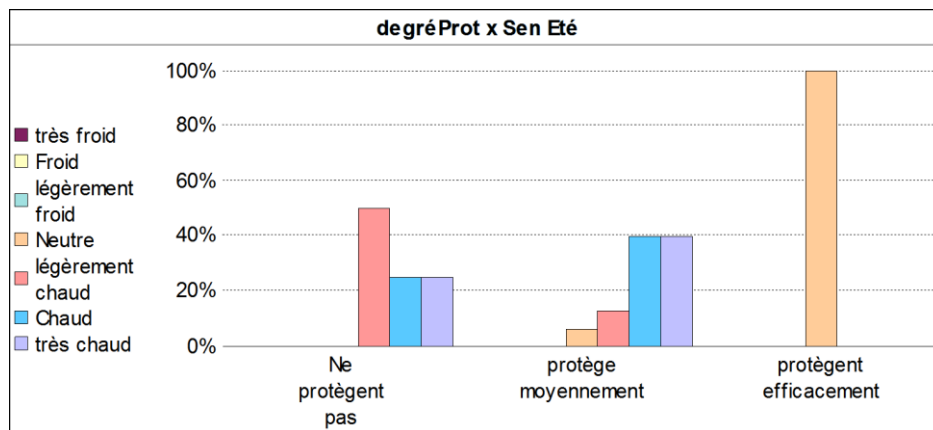


Figure IV.50: croisement entre le jugement de l'effet des rideaux et le vote de perception en Été. DTP.

IV.3.1.12 Protection par les rideaux et jugement d'acceptabilité :

D'après le test de Spearman, une relation moyenne et négative ($Rh\hat{o} = -0.41$) a été enregistrée, entre l'évaluation de la protection des rideaux et le jugement d'acceptabilité des conditions de température intérieure en été.

Les usagers qui annoncent un non protection des rideaux vis-vis la chaleur incidente, ils jugent les conditions thermiques en été, comme **inacceptables** et **légèrement inacceptables**. Tandis que, ceux qui sentent une protection efficace, ils les jugent acceptable et légèrement acceptable.

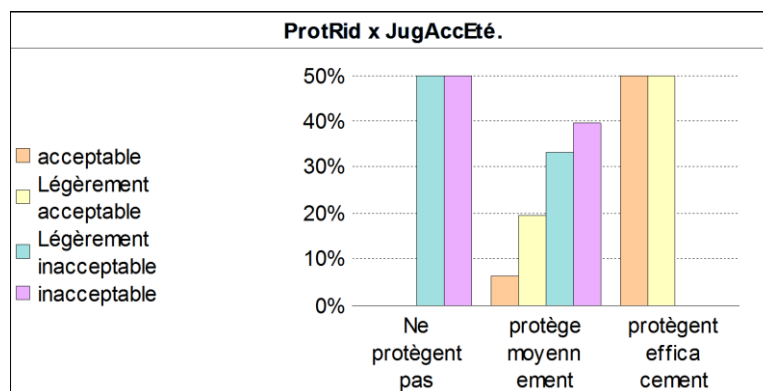


Figure IV.51: histogramme croisé, du jugement d'acceptabilité et efficacité de la protection par les rideaux.

IV.3.1.13 Protection par rideaux et satisfaction en été :

Il est enregistré, une corrélation **positive et moyenne** d'après le test de Spearman ($\rho=0.55$) entre la satisfaction de la fraîcheur en été et le degré d'efficacité de la protection par les rideaux. Les rideaux qui offrent une protection efficace aux usagers laissent ces derniers satisfaits vis-vis la fraîcheur en été. Tandis que, ceux qui n'offrent pas la bonne protection contre la chaleur incidente, laissent l'utilisateur non-satisfait.

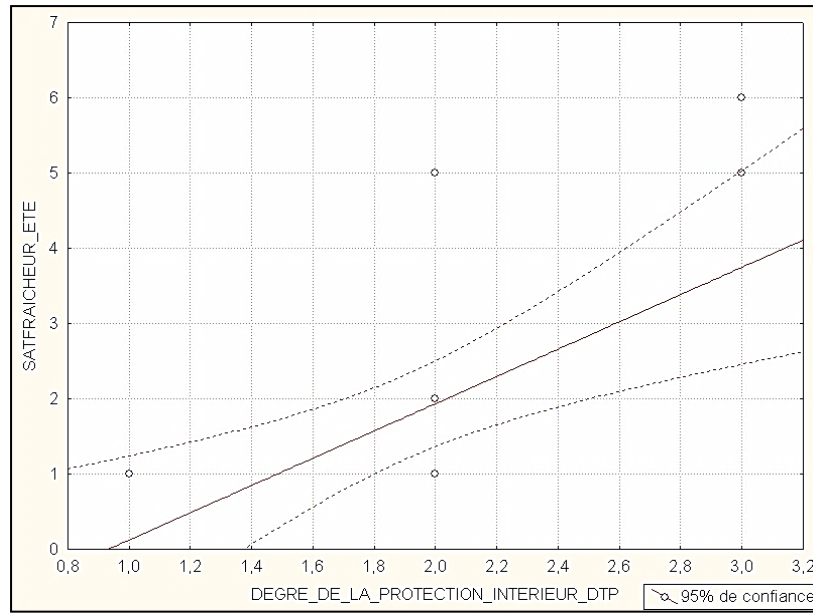


Figure IV.52: Nuage de points, reliant l'effet de la protection intérieure et la satisfaction. DTP.

IV.3.1.14 Jugement de la Protection par les rideaux et préférences :

Les préférences de changement des usagers n'ont aucune relation d'association avec le jugement de l'efficacité de la protection contre la chaleur par les rideaux. Aucune relation de corrélation ou dépendance n'a été trouvée par le test de Spearman ou de CHI2 ($\text{Chi2 calculé}=8.68$, $\text{Chi2 seuil}=18.30$). Les usagers préfèrent travailler dans des conditions thermiques et physiques autres que celles qui existent déjà. Alors que l'évaluation du degré d'efficacité des rideaux dépend de la sensation thermique de l'utilisateur dans son espace, durant les périodes les plus défavorables.

IV.3.1.15 La baie (indice d'ouverture, orientation) et adaptation comportementale :

Au niveau des baies vitrées, deux actions d'ajustement comportementales sont marquées par les usagers dans les deux cas (18%, 69% de la surface vitrée ouverte sur l'extérieur) et pour les orientations Sud-Sud-est et Sud-sud-ouest. Le premier est le déploiement des rideaux, le deuxième est l'ouverture de la porte ou l'ouvrant de fenêtre. La première action (déploiement de rideaux) se traduit par le désir de réduire la transmission des rayons solaires transmis à travers les surfaces vitrées, la deuxième (ouvrir des ouvrants) permet de créer un mouvement d'air en abaissant la température élevée. Ce qui provoque à l'utilisateur une sensation de fraîcheur.

L'utilisation des objets (armoire, boîtes, ...) pour voiler les rayons solaires directs une action d'adaptation marquée chez les usagers dans les espaces qui ont un indice d'ouverture sur l'extérieur de 69% et orientées Sud-sud-est.

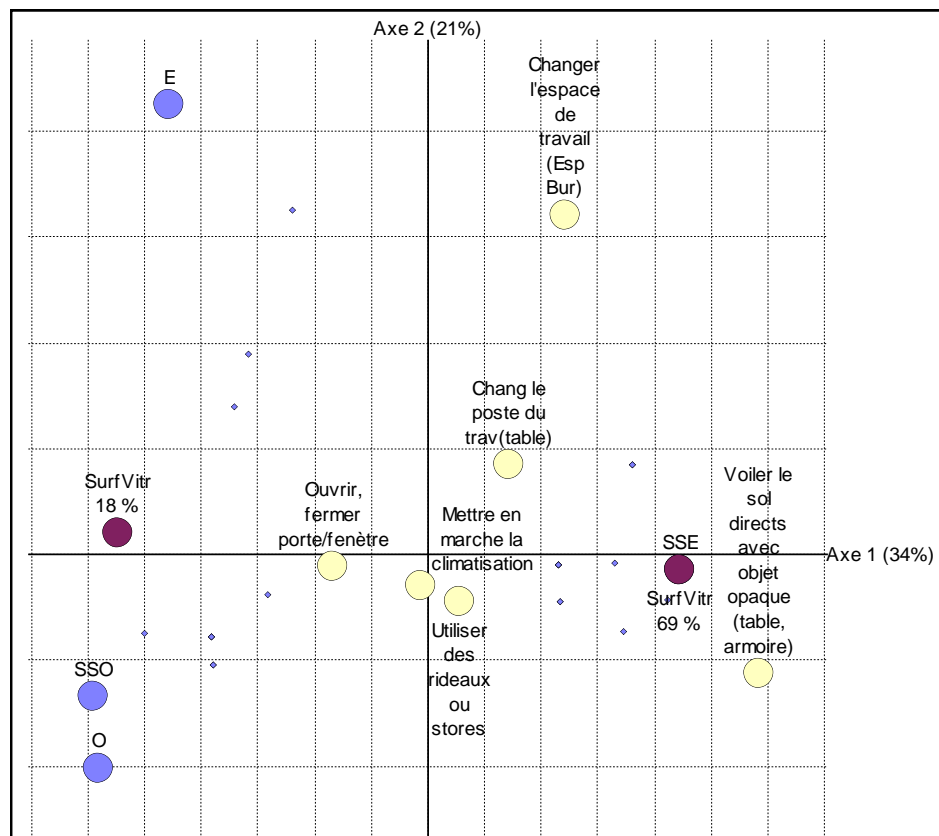


Figure IV.53: Carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, orientation et conduite comportementale. DTP.



Figure IV.54: le déploiement de rideau et l'utilisation des objets, comme actions comportementales au niveau de la baie.

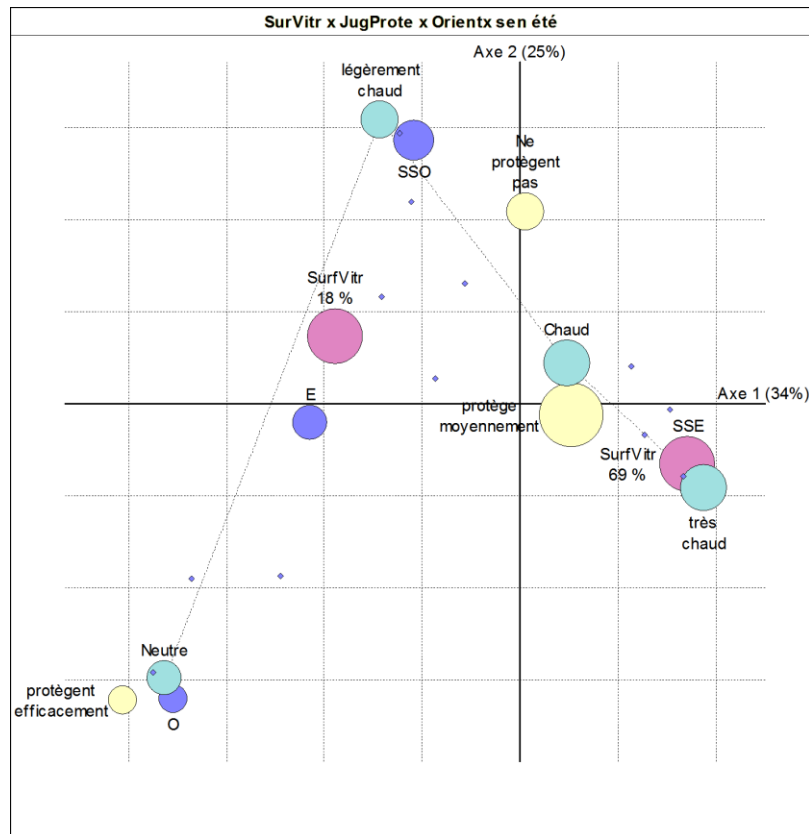


Figure IV.55:carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, l'orientation, jugement de l'effet du rideau et la perception de la température en été. DTP

IV.3.1.16 Synthèse :

Dans le bâtiment DTP, trois indicateurs de la baie ont été examinés leurs effets sur les conduites perceptives et comportementales de l'utilisateur dans l'espace bureau. Ils sont l'orientation, la dimension et l'effet des rideaux intérieurs. L'analyse bi variée montre que les espaces dont la dimension est de **69%** de vitrage orientés **Sud-sud est** aggravent le confort thermique de l'utilisateur. Ce dernier perçoit la température intérieure en période chaude très chaude et inacceptable en été dans la plupart des cas. Malgré l'action de déploiement des rideaux qui son effet de protection est jugé comme moyen ou nul dans certains cas, l'utilisateur est resté insatisfait de ces conditions thermiques. Au niveau de l'ouverture, l'utilisateur voile les rayons solaires à travers le vitrage en utilisant des objets (armoire, boîtes cartonnées), et au niveau d'espace, il change soit l'endroit de la table de travail dans le bureau soit change l'espace bureau lui-même.

IV.3.2 Bâtiment Tourisme :

IV.3.2.1 Orientation de la baie et le vote de sensation en été :

Les personnes dans bureaux qui ont des baies orientées Sud- est sentent en journée d'été chaud et très chaud. Ces espaces de bureaux sont les plus défavorables en confort thermique dans la période estivale.

Une relation significative entre les deux variables (Chi2 calculé = 13.75, chi2 seuil= 12.59)

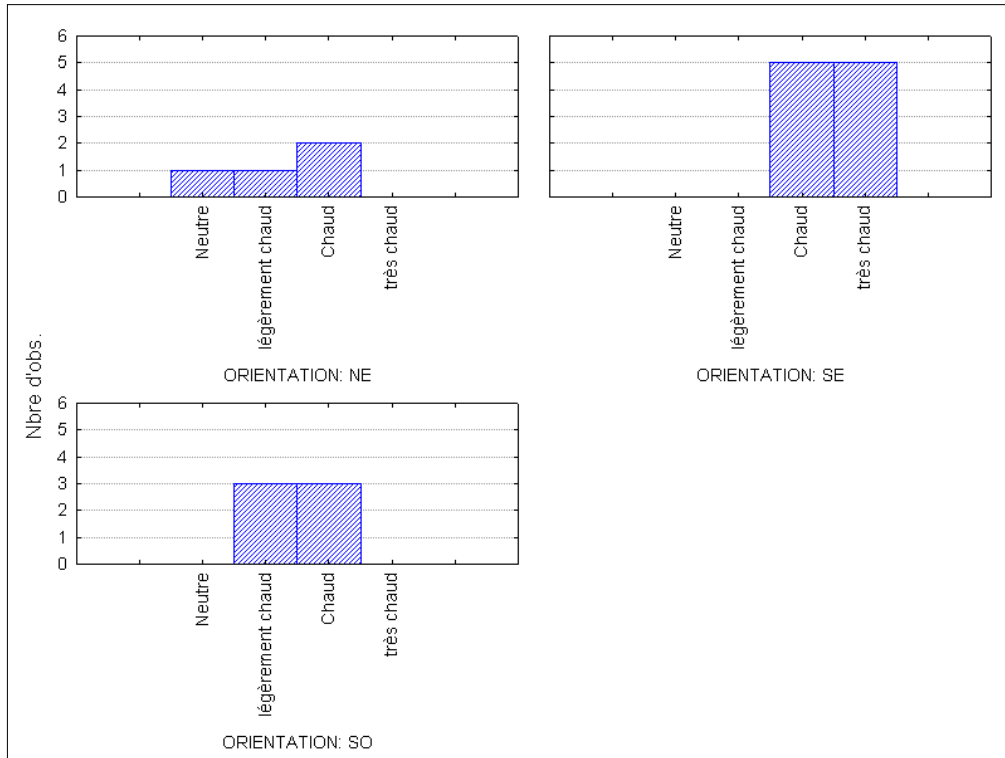


Figure IV.56: Histogramme catégorisé reliant l'orientation des baies et le vote de sensation en Été. Tourisme.

IV.3.2.2 Orientation et préférence

Pour l'orientation Sud-ouest, les préférences des usagers sont des espaces moins exposés au rayonnement solaire, et plus spacieux. Les bureaux de Sud-est, deux préférences ont été marqué, le travail dans esp ace moins exposé au soleil direct et avoir des baies moins de dimension petite.

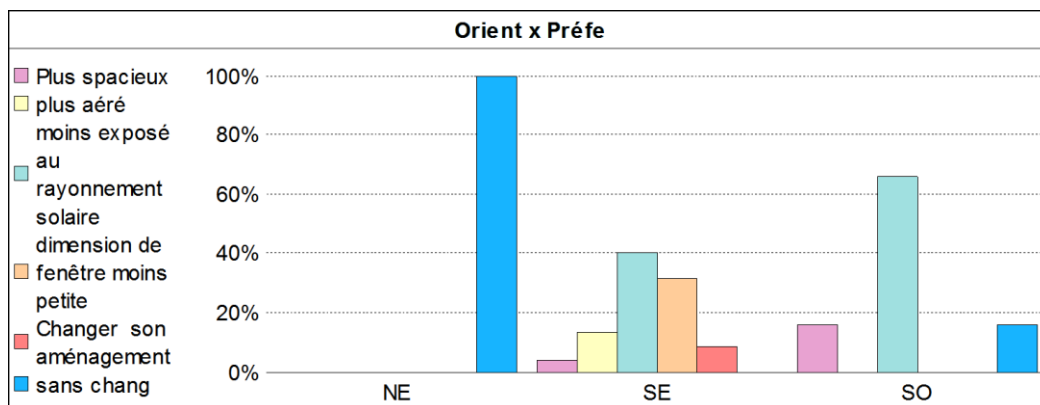


Figure IV.57:graphique montre les préférences des usagers en fonction de l'orientation. Tourisme

IV.3.2.3 Orientation de la baie et jugement d'acceptabilité :

Dans les bureaux qui sont orientés Sud-ouest et Nord-est le jugement d'acceptabilité en été est légèrement acceptable, tandis que pour les espaces orientées Sud-est, les personnes signalent que les conditions de la température intérieure en été sont inacceptables.

En hiver, dans les trois orientations Nord- est, Sud-est et Sud-ouest, en général le jugement des personnes est légèrement acceptable. Cependant, on note que, dans les espaces orientées Sud-ouest, une tranche de 33 % de personnes enquêtées, déclare que les conditions thermiques à l'intérieur de ces espaces sont inacceptables.

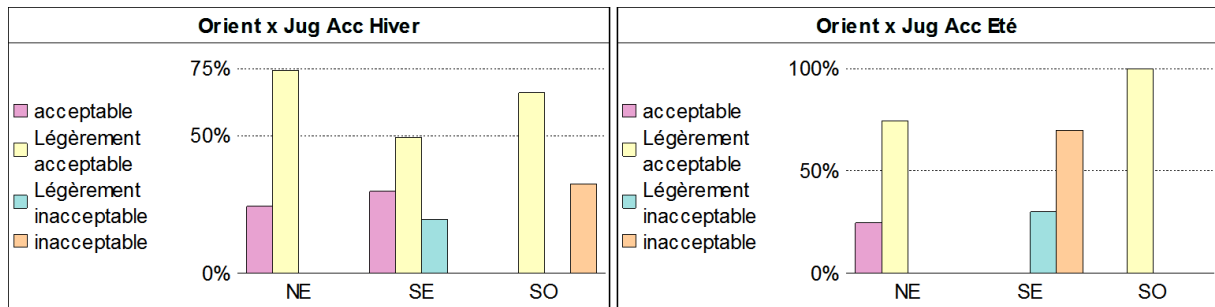


Figure IV.58: le jugement d'acceptabilité (Eté/Hiver) en fonction de l'orientation de la baie. Tourisme

IV.3.2.4 Orientation de la baie et satisfaction en été.

Un **non satisfaction** signalée par des usagers envers la fraîcheur en été est marqué dans les bureaux dont les baies sont orientées Sud-est. Pour l'orientation Sud-ouest les usagers sont un peu satisfaits.

Une corrélation **négative** et **faible** ($Rh\hat{=} -0.33$) a été enregistrée par le test du coefficient de Pearson entre ces deux indicateurs.

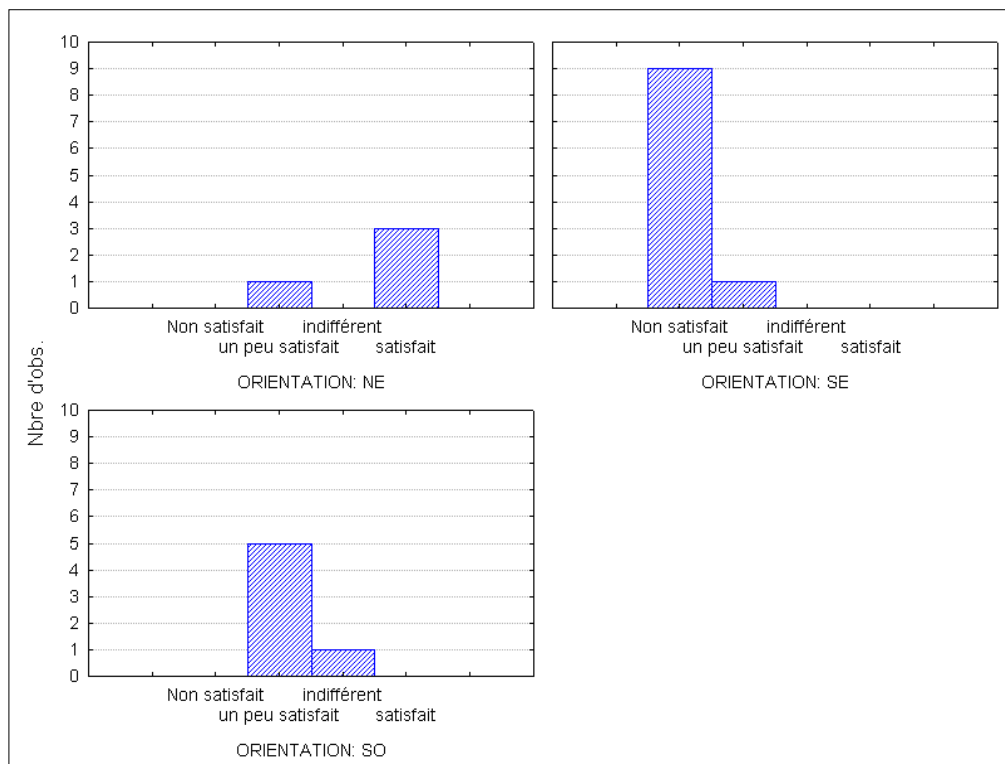


Figure IV. 59: Histogramme catégorisé reliant l'orientation de bureau et la satisfaction envers la fraîcheur en Été. Tourisme

En hiver, d’une manière générale, dans les trois orientations (Sud-ouest, Sud-est et Nord-est) les usagers sont satisfaits envers la température intérieure. Avec une tranche qui n’est pas satisfait dans l’orientation Sud-ouest.

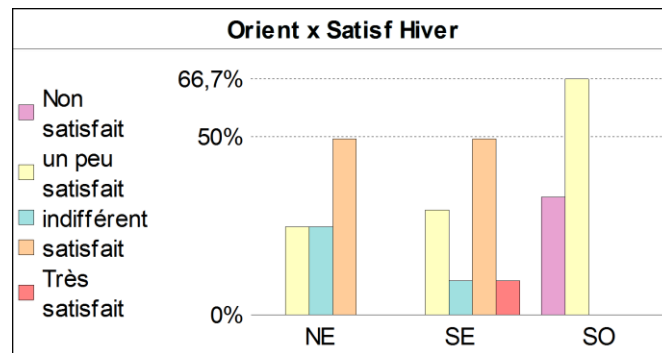


Figure IV.60: la Satisfaction en hiver en fonction de l’orientation de l’espace bureau. Tourisme.

IV.3.2.5 Dimension de la baie (indice d’ouverture) et vote de perception

Une corrélation positive moyenne entre l’indice d’ouverture et le vote de perception en été dans le bâtiment Tourisme. (Valeur de coefficient de Pearson Rhô= 0.65).

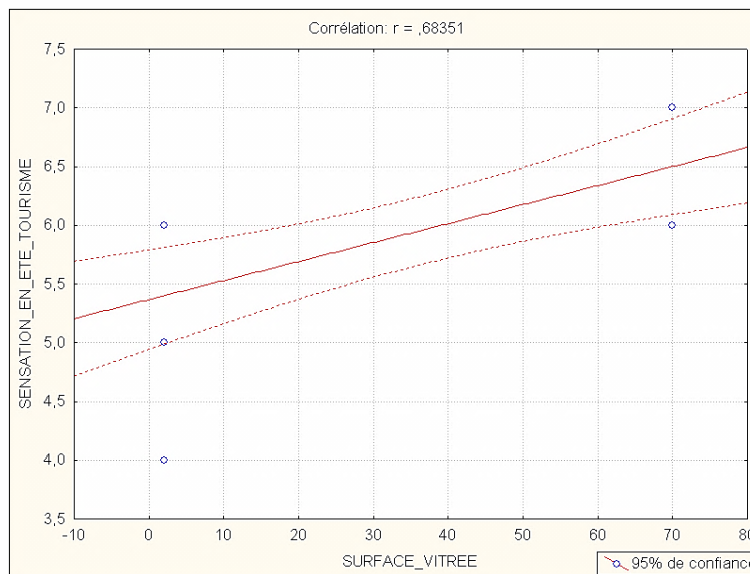


Figure IV.61: nuage de points, reliant la dimension de la baie et le vote de perception en été. Tourisme.

IV.3.2.6 Dimension de la baie et préférences de changement :

Pour l’indice d’ouverture de l’ordre de 30%, les préférences des usagers sont, avoir des espaces plus spacieuses, et moins exposées au rayonnement solaire. Les préférences des usagers dans les bureaux qui ont un indice de 70% de surfaces vitrée, sont : avoir des espaces qui possèdent des baies de dimension moins petite, et que les façades extérieures de ces locaux ne soient pas exposées directement au rayonnement solaire direct.

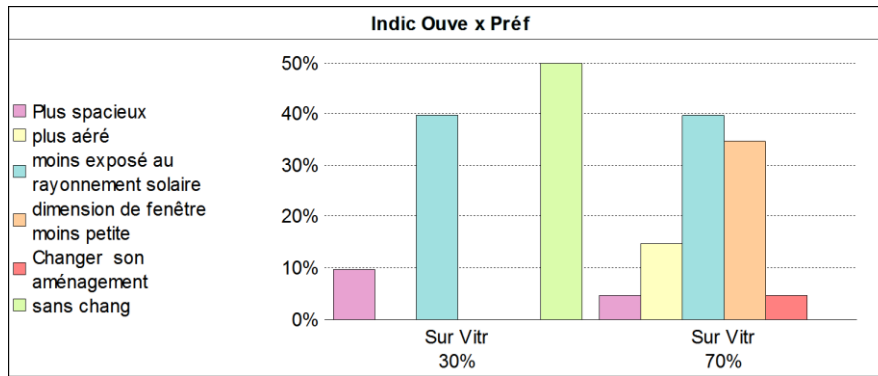


Figure IV.62: histogramme croisé, reliant la dimension de la baie et les préférences. Tourisme.

IV.3.2.7 Dimension de la baie et son jugement évaluatif :

Une corrélation moyenne et positive entre l'indice d'ouverture et son jugement évaluatif par l'utilisateur. (Rho de Pearson= 0.68). Les baies qui ont un pourcentage de 30% de la surface du mur de façade sont jugées comme étant adéquate. Celles qui représentent une surface 70% de la surface totale du mur extérieur, jugées larges et trop large.

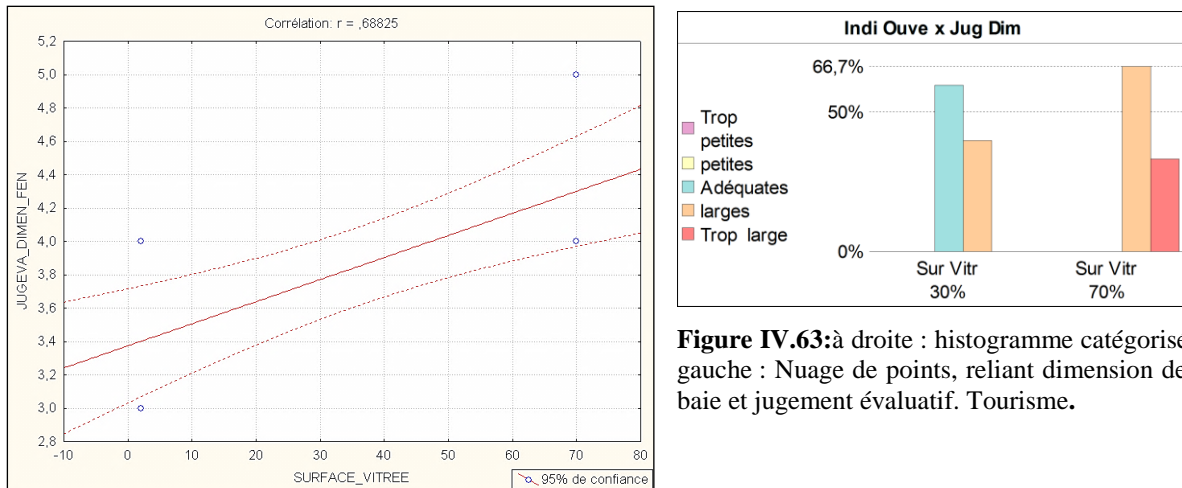
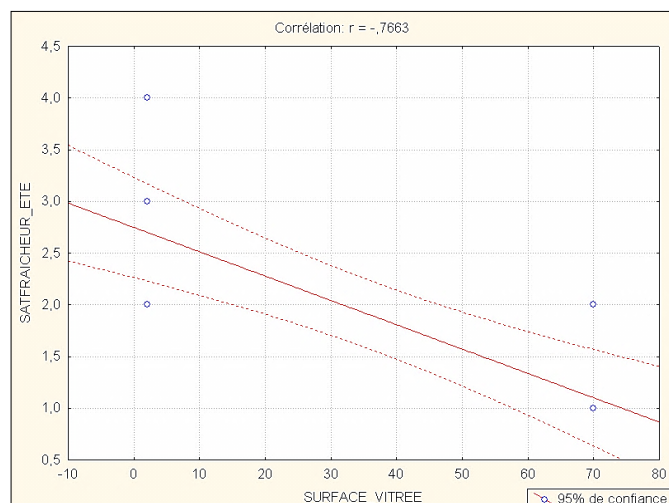


Figure IV.63: à droite : histogramme catégorisé, à gauche : Nuage de points, reliant dimension de la baie et jugement évaluatif. Tourisme.

IV.3.2.8 Dimension de la baie et satisfaction en été et en hiver :

Suivant le test statistique de Pearson, une relation négative et forte entre l'indice d'ouverture et la satisfaction vis-vis la fraîcheur en été. (Rho = -0.76).

Figure IV.64: nuage de points, reliant la satisfaction en été et la dimension de la baie. Tourisme.



Dans le cas d'indice d'ouverture d'ordre de 70%, les usagers sont insatisfaits envers la fraîcheur en été. Pour celui d'indice de 30%, les personnes sont un peu satisfaites. En hiver, la majorité des personnes sont satisfaites des conditions thermiques, dans les espaces qui ont un indice d'ouverture de 70%. Un peu satisfaites sont les personnes qui travaillent dans les bureaux qui ont un indice de vitrage de 30%.

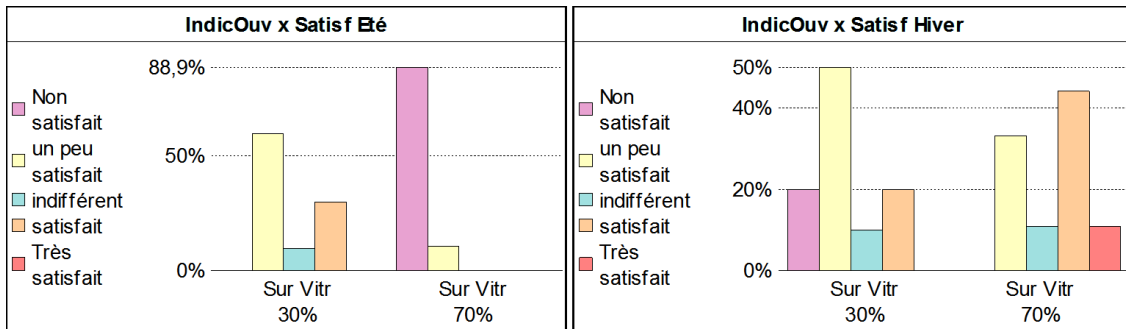


Figure IV. 65:satisfaction des usagers en Hiver en fonction de la dimension de la baie. Tourisme.

IV.3.2.9 Dimension de la baie et le jugement d'acceptabilité :

En été, Dans les espaces qui ont indice de 30% de vitrage, les conditions de température sont **légèrement acceptables** chez les usagers. Par ailleurs, elles sont **inacceptables** chez les occupants des espaces dont l'indice d'ouverture de 70%. En hiver, la température ambiante est légèrement acceptable d'une manière générale chez les occupants pour les deux cas d'indice d'ouverture. Une valeur de coefficient de Pearson $Rh\hat{o}=0.91$ a été trouvée entre l'indice d'ouverture et le jugement d'acceptabilité en été.

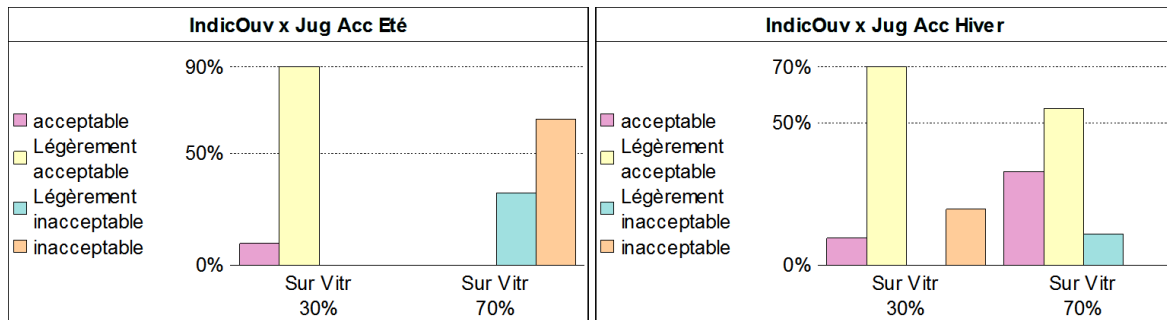


Figure IV.66:le jugement d'acceptabilité (Eté &Hiver) en fonction de la dimension de la baie vitrée. Tourisme

IV.3.2.10 Surface vitrée et le jugement Evaluatif d'une tache solaire :

Dans le cas d'un indice d'ouverture égale à 70%, la tache solaire incidente à l'intérieur réchauffe **souvent** l'air intérieur. Pour le cas d'un indice d'ouverture de 30%, ce n'est que parfois et pour quelques bureaux où une tache solaire incidente cause un réchauffement de l'air.

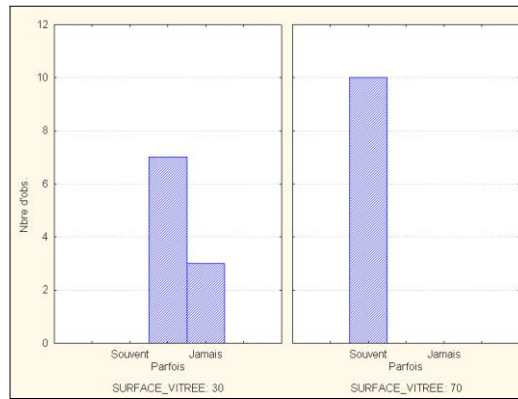


Figure IV.67: Jugement évaluatif d'une tache solaire incidente en fonction de la surface vitrée. Tourisme

IV.3.2.11 La baie (indice d'ouverture, orientation) et adaptation comportementale :

Ouvrir/fermer les ouvrants (porte, fenêtres) est une conduite comportementale adoptée par les usagers dans le cas des espaces qui ont un indice de 30% et 70% et dans les trois orientations (Sud-est, Sud-ouest et Nord-est. Deux conduites d'adaptations comportementales au niveau des baies sont marquées chez les employés dont les bureaux orientés Sud-est avec un indice de 70% de vitrage. Elles sont le collage du papier sur le vitrage et le voilage partiel du vitrage par des objets opaques. Comme dans ce bâtiment, il n'y a aucun dispositif intérieur (rideau ou store) de protection, l'usager tend à se protéger du rayonnement solaire par le biais de ces actions.

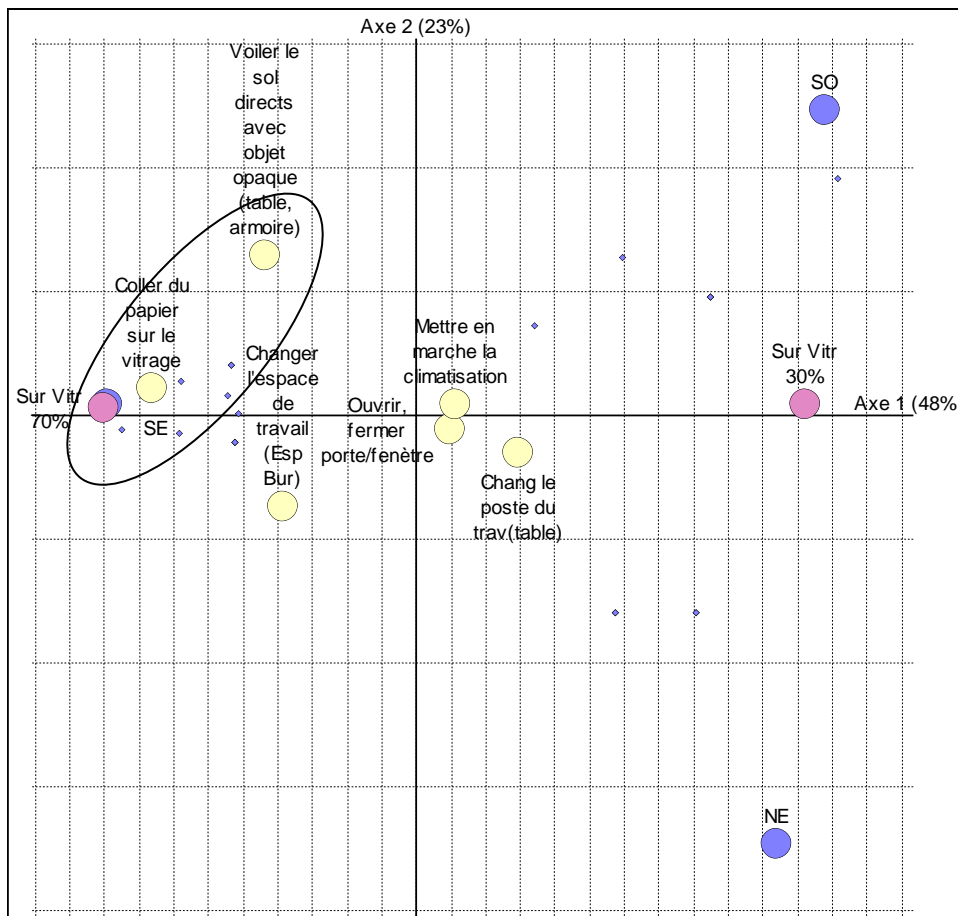


Figure IV.68: Carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, orientation et conduite comportementale. Bâtiment Tourisme.

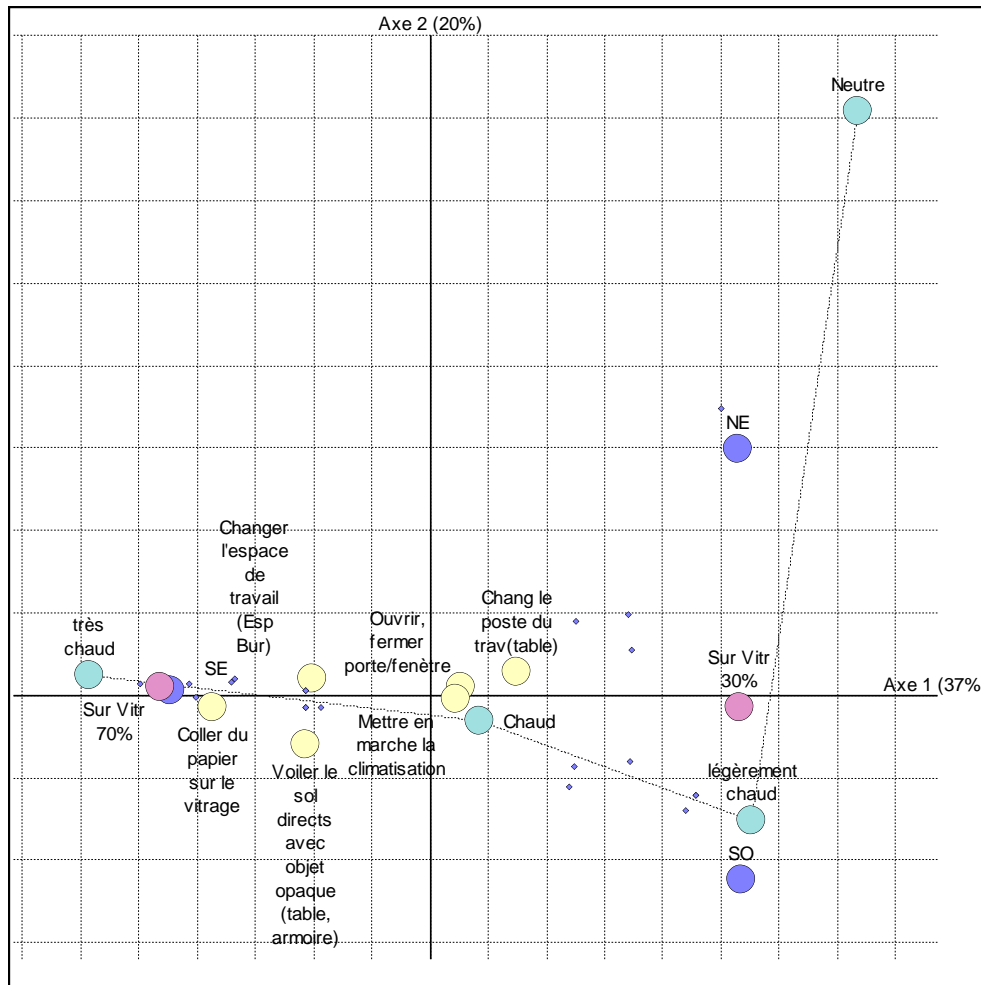


Figure IV.69: carte factorielle, reliant l'indice d'ouverture, l'orientation, la perception de la température en été et l'adaptation comportementale. Tourisme.

IV.3.2.12 Synthèse :

Dans cette analyse bi et multi variée, il est examiné les relations entre les variables de la baie et les conduites perceptives et comportementales. Ces variables sont l'orientation et l'indice d'ouverture. Les espaces qui donnant sur le **Sud-est** et qui ont un indice de **70%** d'ouverture, sont les plus défavorable dans le confort dans la période d'été par rapport aux autres espaces. Les usagers sont insatisfaits envers la température intérieure en période chaude, cette élévation de température intérieure rend dans la plupart des cas, le climat thermique intérieur inacceptable chez eux. A cet effet, ces occupants essayent de s'adapter thermiquement dans ces bureaux par différentes actions comportementales, les plus marquées au niveau de la baie sont : voiler les rayons solaires direct à travers le vitrage par des objets ou du papier collé directement sur le vitrage.

Conclusion :

Une analyse statistique à l'aide du logiciel Sphinx a été faite pour examiner les indicateurs objectifs de confort thermique des employées au sein de leurs espaces de bureaux. Ces indicateurs se répartissent en conduites perceptives et comportementales. L'examen se fait d'une manière pour comprendre les relations entre les caractéristiques des baies et les conduites perceptives ainsi que leurs conséquences qui sont traduites en conduites comportementales. Dans le premier cas d'étude (bâtiment Tourisme), les bureaux orientés Sud-est avec un indice d'ouverture de l'ordre de 70% et qui ne dispose pas une occultation intérieure, sont les plus défavorables en confort thermique. En comparaison avec les espaces de bureaux orientés Sud-ouest et Nord-est dont l'indice d'ouverture est de 30%, les personnes qui travaillent dans les espaces orientés Sud-est dont l'indice de 70% elles sont insatisfaites de la fraîcheur en période chaude. Elles ont trouvé une difficulté d'accepter la température intérieure dans ces moments de l'année. En période froide, ces espaces sont plus acceptables en ce qui concerne la température intérieure et plus satisfaisants en confort thermique par rapport à ceux qui sont orientés Sud-ouest et Nord-est.

Dans le deuxième cas d'étude (bâtiment DTP), l'ensemble de bureaux orientés Sud-sud est dont l'indice d'ouverture de 69% sont les plus défavorables en confort thermique de l'utilisateur en période chaude. En comparant avec les espaces orientés Sud-sud-ouest et Est dont l'indice de 18%, ils jugés inconfortable par les employées en moment chaud et confortable en moment froid. Ici, la plupart des réponses fournies par les occupants ont été chaud et très chaud en été et légèrement froid en hiver. Malgré que dans ce cas d'étude, des rideaux intérieurs sont installés à l'intérieur plus l'utilisation de moyens mécaniques (climatiseur), les usagers préfèrent avoir plus froid dans les espaces dont l'indice de 69% orientés Sud-sud est par rapport à ceux qui se trouvent dans les bureaux dont l'indice d'ouverture est de 18% et préfèrent avoir un peu de changement (un peu plus froid).

Dans le troisième cas d'étude qu'est le bâtiment DUAC, la plupart des personnes enquêtées qui sont dans les espaces orientées Sud-sud est et Sud-sud-ouest perçoivent leur bureau chaud en Été. Elles ne sont pas satisfaites des conditions de température en été malgré l'utilisation des moyens mécaniques et les perçoivent comme inacceptables. Ces bureaux ont un indice d'ouverture de l'ordre de 43% et 74% et possèdent des stores intérieurs.

On peut constater que l'indice d'ouverture, l'orientation de bureau notamment la baie et la présence ou non d'un rideau ou store intérieur sont en relation avec la perception des ambiances thermique par l'utilisateur, la satisfaction vis-à-vis les conditions de température intérieure ainsi l'évaluation subjective de son état thermique au sein de l'espace bureau.

En effet, les indicateurs subjectifs du confort thermique mesuré chez les usagers, montre l'insatisfaction thermique chez les employés au sein des espaces de bureau, qui sont bien définis, par les paramètres de leurs baie vitrés.

CHAPITRE V :
LES INDICATEURS OBJECTIFS
(Analyse des données de mesures *in situ*
et des indices thermiques).

Introduction :

Après on a exposé les résultats et l'analyse de la première dimension du confort thermique qui liée spécialement aux conduites subjectives de l'utilisateur au sein des espaces de bureaux pour les trois cas d'étude, nous allons aborder dans le présent chapitre, la deuxième dimension du confort thermique, à l'intérieur de ces espaces, au sein de bâtiments de bureaux contemporains à la ville de Béchar. D'ailleurs, ce deuxième aspect pour l'évaluation de confort, est notamment les indicateurs **objectifs** qui sont liés à l'environnement thermique intérieur de l'espace à étudier. Ces indicateurs sont les paramètres hygrothermiques du climat intérieur. Alors pour collecter ces données objectives, nous avons utilisé un procédé d'investigation in situ, à l'aide des appareils de mesure, tels qu'un thermo-hygromètre et un thermomètre à infrarouge. Après avoir collecté ces données objectives, nous allons caractériser l'état de confort thermique, dans chaque espace, à travers trois indices thermiques que sont : la température résultante, le vote moyen prévisible et le pourcentage de personnes d'insatisfaits.

Tout d'abord, pour pouvoir interpréter les résultats obtenus, nous allons bien déterminer une zone de confort pour notre cas d'étude, qui est les espaces de bureaux dans un contexte chaud et aride. Pour cela, on va appuyer sur les résultats de l'analyse climatiques et les diagrammes bioclimatiques, faites par la présente recherche sur la ville de Béchar. Ensuite, on opte à une évaluation thermique à travers trois niveaux d'analyse, le premier est descriptif, sera consacrer sur la description des résultats de paramètres mesurés dans chaque espace. Le deuxième niveau est corrélatif, traite l'effet des variables de la baie vitrée pour chaque espace sur les paramètres thermiques mesurées. Le dernier niveau d'analyse est un palier de croisement qui s'agit de voir l'effet de l'ensemble de paramètres mesurés dans chaque espace, sur les conditions thermiques intérieures. La combinaison des facteurs hygrothermiques mesurés (Inputs) est faite à l'aide d'une **application Excel**, les Outputs seront les indices thermiques, ils seront par la suite le moyen qui nous permettra la caractérisation de l'impression thermique au sein de chaque espace.

En dernier lieu, et après on a caractérisé l'état thermique dans chaque espace de bureau, nous allons voir d'après les résultats de trois paliers d'analyse, comment les variables des baies vitrées étudiées par cette recherche, modifient les ambiances thermiques intérieures affectant par conséquent la sensation de l'utilisateur, au sein de son espace.

V.1 Détermination d'une zone de confort :

Afin de bien caractériser l'état de l'environnement thermique à l'intérieur des bureaux, tout d'abord, il est nécessaire de définir une plage de confort spécifique pour notre cas d'étude dans laquelle les exigences thermiques de l'utilisateur sont satisfaisantes. Notre cas d'étude est les immeubles de bureaux, il se situe dans un contexte chaud et sec (Ville de Béchar), caractérisé par des étés très chauds et des hivers froids. En effet, ce climat se caractérise par une longue période de surchauffe (plus de 6 mois), où l'inconfort est largement ressenti. Pour cela, il est indispensable de concevoir le bâtiment selon les exigences de l'été en prenant en compte le confort de l'utilisateur durant cette période. Pour les exigences de confort en l'hiver seront satisfaites en conséquence.

Selon **Givoni (1998)**, un architecte qui a travaillé beaucoup sur la notion de confort thermique, dans son diagramme adapté aux pays chauds, une zone de confort a été définie comme se suit : température de l'air de **20°C à 26°C** avec une humidité relative variant entre **25 %** et **75%**. Cette zone peut s'étendre en été et en hiver.

En été : les limites supérieures peuvent atteindre une température de **27°C** en favorisant l'apport de ventilation.

En hiver : la température au soir peut descendre en dessous de 20°C, atteint la valeur de 16 à 17°C.

Selon les **recommandations architecturales** (faites par le ministère algérien de l'habitat), des limites de confort ont été déterminées pour chaque zone climatique. La ville de Béchar appartient de la zone climatique d'hiver **H3a** et d'été **E3**, pour cette zone les limites de confort sont définies comme se suit : température de l'air **22°C à 27 °C**, humidité relative varie entre **19** et **65%** en fonction de température.

	Zone d'hiver	Temp	Humidité	Zone d'été
Sahara	H3a	22 -27	19-65	E3
	H3b	23-27	19-60	E4
	H3c	23-28	20-62	E5

Tableau V.1: limites de confort pour les zones du Sahara (Source : recommandation architecturale)

La **norme européenne NBN EN 13779 (2007)** définit des valeurs de références pour une température de confort (température opérative) dans les bureaux des bâtiments publics :

En été : il est recommandé une plage de température opérative entre 23°C à 26°C.

En hiver : la plage de température opérative allant de 19°C à 24 °C.

La norme **55-2004** de l'**ASHRAE** définit une plage de température opérative dans les locaux de bureaux, jugée acceptable pour 80% des gens.

	Température opérative
Été (degré d'isolement des vêtements = 0,5 clo)	
Humidité relative 30 %	24,5–28
Humidité relative 60 %	23–25,5
Hiver (degré d'isolement des vêtements = 1,0 clo)	
Humidité relative 30 %	20,5–25,5
Humidité relative 60 %	20–24

Tableau V.2: plage de confort dans les lieux du travail selon La norme 55-2004 de l'ASHRAE.

Selon ces quatre consignes des exigences de confort cités en dessus, on opte à définir les conditions de confort pour notre cas d'étude comme ce suit :

En été : T_{op} varie entre **23 °C et 28 °C**

En hiver : T_{op} varie entre **19 °C et 24 °C**.

Humidité relative (Hr) : **25%- 65%**.

Vitesse de l'air varie comprise entre : **$0.15 \leq V_a \leq 0.20$ m/s** (ASHRA La norme 55-1992).

V.2 Technique et protocole de prises de mesures Hygrothermiques :

La technique est basée sur un travail sur terrain, qui consiste à mesurer trois paramètres de l'environnement thermique intérieur ; (la température de l'air (T_a), l'humidité relative (Hr) et la température moyenne radiante (T_r)) au sein de différents bureaux dans trois bâtiments de bureaux. Les critères de choix de ces bureaux sont faits, en fonction du pourcentage de la surface vitrée, l'orientation, la présence ou non d'une occultation.

Ces mesures ont été déroulées durant deux périodes distincts de l'année, pendant le mois d'octobre (13-16-18) et le mois de janvier (23-25). La procédure de mesure faite de la manière qu'on a installés l'appareillage de mesure (**Testo 480**) au centre du bureau, à une hauteur de **1m** au-dessus du sol. Les valeurs de température de l'air et humidité relative sont prises d'une manière systématique à intervalle régulier, où chaque une heure du temps on note deux valeurs durant la journée du travail, à partir de 8h00 jusqu'à 17h00. En même temps, on prend les mesures des températures des surfaces de différentes parois du bureau et des surfaces vitrées à l'aide d'un **thermomètre à infrarouge**. Ces valeurs de température nous permettront ainsi de calculer la température moyenne radiante à chaque une heure du temps durant la journée du travail. Pour faciliter la détermination de la valeur de la température moyenne radiante, on suppose que les usagers se positionnent au centre de bureau.

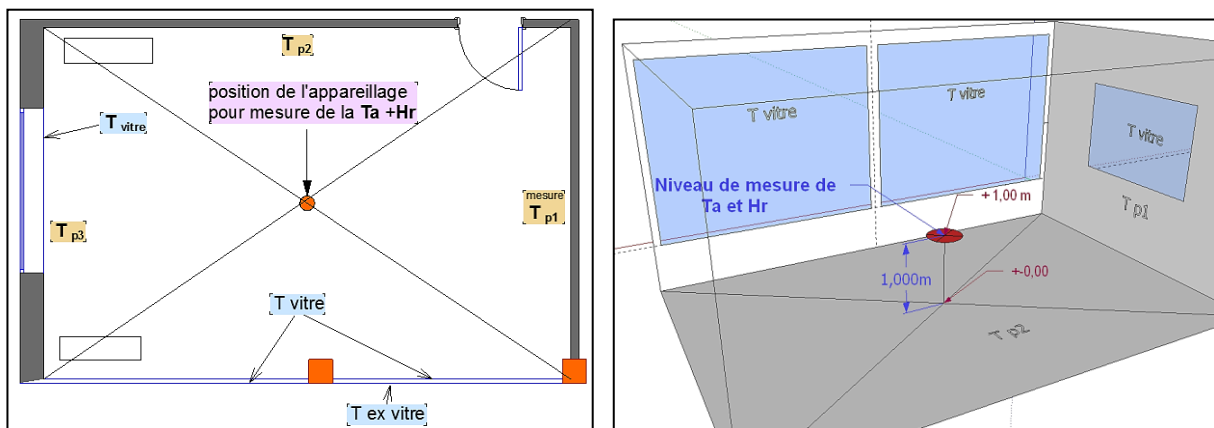


Figure V.1: plan et vue en perspective schématiques montrant le protocole de mesures au niveau de l'espace bureau.

V.3 Méthode de détermination des indices PMV, PPD & Top

La procédure est suivante, en première étape, à l'aide des appareils (thermo-hygromètre, thermomètre à infrarouge) on prend les mesures des paramètres de l'environnement intérieur suivants :

- La température ambiante intérieure.
- L'humidité relative
- La température de la surface de différentes parois et du vitrage.

En seconde lieu, on calcule la valeur de la température radiante pour chaque temps de mesure. Cela, va se réaliser en utilisant les données des valeurs de température surfacique mesurée pour l'ensemble des parois du bureau et la surface correspond à chaque paroi, en supposant que l'utilisateur se place au centre de l'espace.

En dernier lieu, et après quand on aura obtenu les données des trois paramètres de l'environnement intérieur (température ambiante, humidité relative et température moyenne radiante) on pourra déterminer les trois indices thermiques à l'aide d'une **application Excel¹** combine les trois paramètres physiques mesurés et ceux qui sont liée à l'individu.

Choose "Tools-Macro-Security-Mean".
This version is scanned with Symantec
Antivirus Definition File 2005-09-15 rev.
23

Parameter	Input
Clothing (clo)	0,50
Air temp. (°C)	27,0
Mean radiant temp. (°C)	26,0
Activity (met)	1,2
Air speed (m/s)	0,13
Relative humidity (%)	37,4

Calculate PMV

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	26,5
PMV	0,4
PPD	8,3

Number of iterations: 8

Modified by Håkan Nilsson
Department of Technology and Built Environment
Laboratory of Ventilation and Air Quality
University of Gävle

Inputs : paramètres de l'environnement et de l'individu

Outputs : indices PMV, PPD et TOP

Figure V.2: l'interface de l'application de calcul des indices PMV, PPD et Top, via d'Excel (Application fournie par S. Mazouz, 2014).

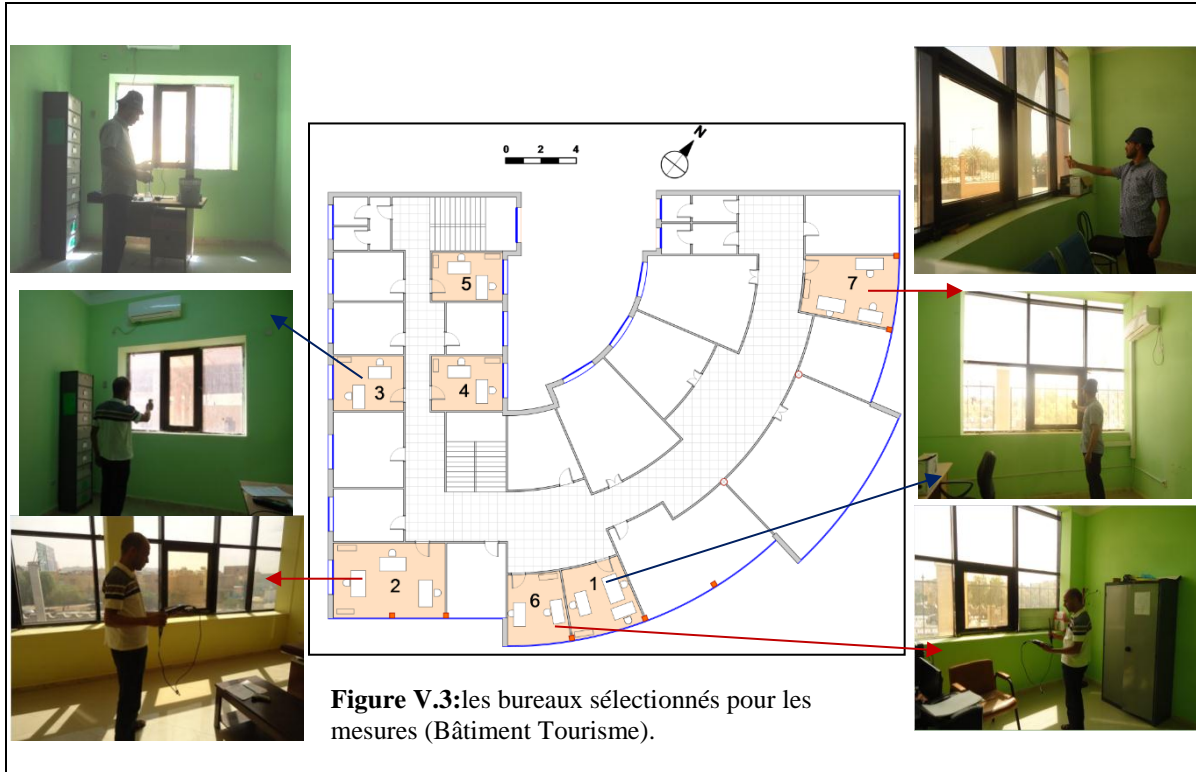
Après avoir terminé le calcul des indices thermiques pour chaque local bureau, on conçoit un canevas (tableau) contient l'ensemble des paramètres mesurés et calculés de chaque espace. Ces tableaux respectifs pour chaque bâtiment, seront mis en annexe.

¹ Cette application est développée par The Department of Technology and Built Environment, Laboratory of Ventilation and Air Quality, University of Gävle.

V.4 Les bureaux sélectionnés pour les mesures :

V.4.1. Le cas du bâtiment Tourisme :

Dans ce bâtiment, on a choisi cinq bureaux type, trois bureaux ont un indice de vitrage d'ordre de 70% de surface de mur extérieur et des orientations différentes. Quant à les deux autres, ils ont deux orientations différentes et le même indice d'ouverture vitrée (30%). Les caractéristiques de la baie vitrée dans chaque espace, ont été présentées dans le tableau en dessous.



Bureau	Occp par pers	Suf Sol	Orient	Surf baie Vitrée m ²	Type & comp du vitrage	Ug w/m ² k	Fac sol g _{tot} %	Prot sol
1	2ps	12.68	Sud-est	8.46	Trempe 4/9/4 +1film miroir (face2)	3.3	67	sans
6	2ps			72%				
2	3ps			21.49					Sud-est	13.22	70%
7	3ps	19.42	Nord-est	9.23				
3	2ps	11.40	Sud-ouest	2.63 30%	Simple (float) 6 mm +1film miroir (face2)	5.8	85	sans
4	2ps	11.40	Nord-est					
5	2ps							

Tableau V.3: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (batiment Tourisme).

V.4.2. Le bâtiment DTP :

Dans ce cas, on a fait les mesures au sein de sept espaces de bureaux, quatre parmi eux ont le même indice d'ouverture représente un pourcentage de **69%** par apport à la surface de mur extérieur. Les trois autres bureaux ont un indice d'ouverture d'ordre de **17%** par apport à la surface où s'inscrit cette baie (voir Tableau V.4).

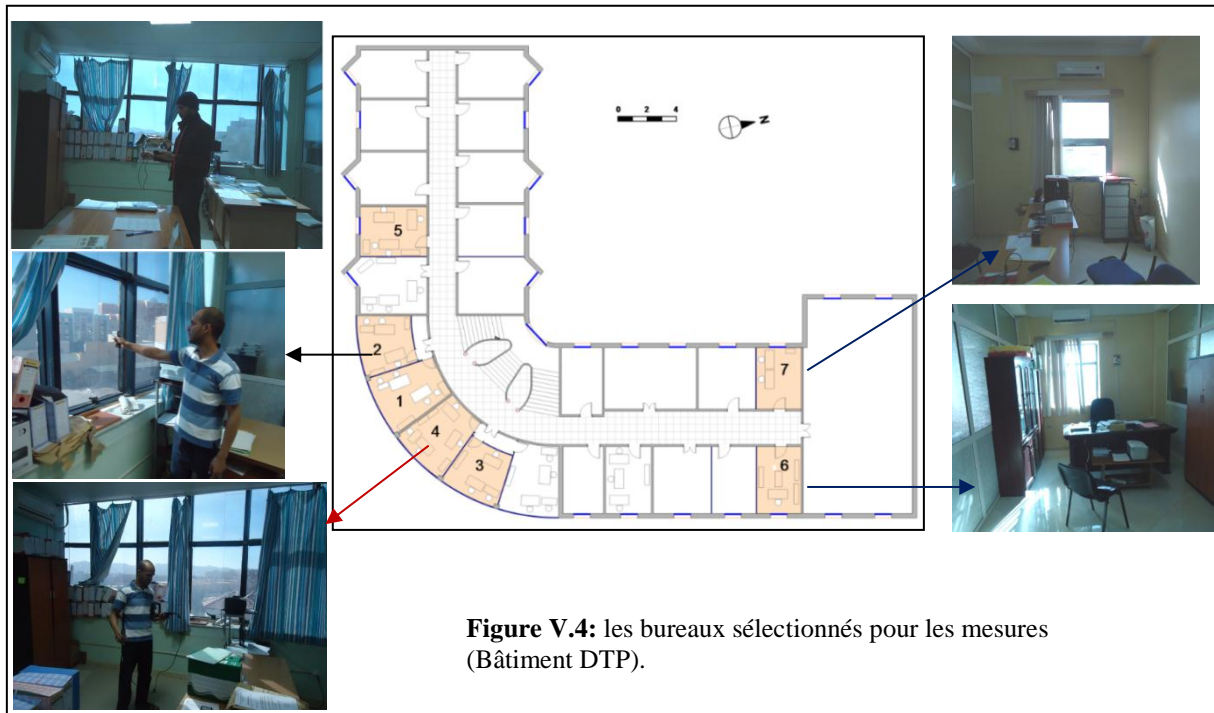


Figure V.4: les bureaux sélectionnés pour les mesures (Bâtiment DTP).

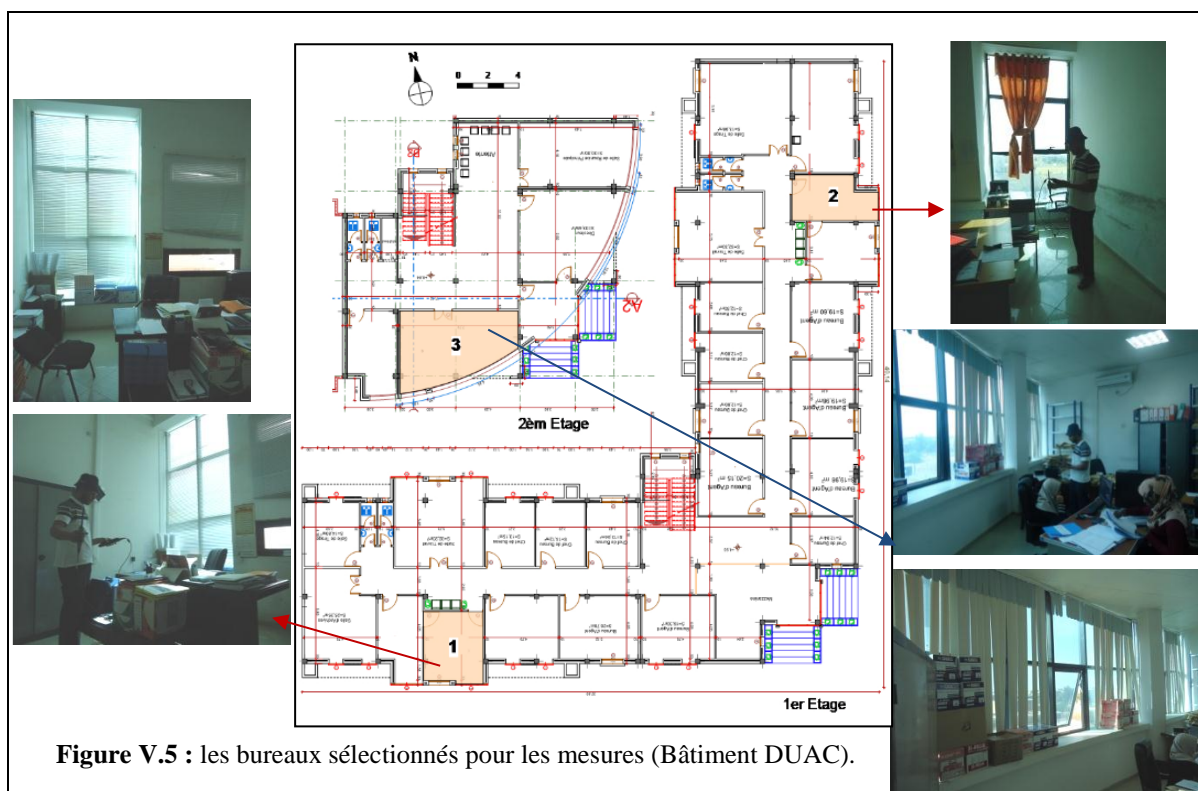
bureau	Occup par pers	Suf Sol	Orient	Surf baie Vitrée m ²	Type & compo du vitrage	U _{tot} w/m ² k	Fac sol g _{tot} %	Prot sol
1	2ps	19.40	Sud-S est	9.16 69%	Double 4/9/4 +1 film miroir (face2)	3,0	58	Rideau inter moyen
2	2ps	14.00	Sud					
3	2ps	14.00	Sud-est					
4	3ps	19.40	Sud-est					
5	3ps	15.36	Sud ouest	1.71 17%	Simple 6mm	5.1	61	Store à lame vertical inter clair
6	1ps	12.84	Est					
7	2ps	12.84	Ouest					

Tableau V.4: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (bâtiment DTP).

*** Les valeurs de U_{tot} (vitrage+protection) sont obtenues à partir de la formule : $\frac{1}{U_{tot}} = \frac{1}{U_g} + r_v + r_{rid} + r_{occ}$.

V.4.3. Le bâtiment DUAC

Trois bureaux ont été sélectionnés pour faire les mesures physiques. Les critères du choix de ces espaces sont faits d'un part en fonction des caractéristiques de la baie (indice d'ouverture, orientation) et d'autre part, les employés travaillant dans ces bureaux ont accepté la collaboration avec nous durant la journée de prise des mesures, en ce qui concerne surtout, la mise en marche des moyens mécaniques de la climatisation et l'ouverture des ouvrants.



Bureau	Occup par pers	Suf Sol m ²	Orient	Surf baie Vitrée m ²	Type & comp du vitrage	U _{tot} w/m ² k	Fac sol g _{tot} %	Prot sol
1	2ps	17	Sud-sud-ouest	6.30 43%	Double 4/9/4 + 1 film miroir (face2)	3.0	48	Store à lame inter clair
2	2ps	14	Est-sud-est	6.11 54%	Double 4/9/4 + 1 film miroir (face2)	3.0	48	Store à lame inter clair
3	4ps	32	Sud	20.80 74%	Double 4/9/4 + 1 film miroir (face2)	3.0	51	Lame verticale inter claire

Tableau V.5: Paramètres de la baie vitrée pour les espaces bureaux où prise les mesures (bâtiment DUAC).

V.5 L'emprise de l'ouverture vitrée à l'espace de bureau :

Dans les trois cas d'études, un seul principe est utilisé pour la façade rideau. La technique est que la façade s'élève du sol jusqu'au étage par une structure en aluminium dans laquelle, des panneaux de verre posés de l'extérieur sont fixés par collage sur les cadres. Les profilés en aluminium sont ainsi visibles de l'intérieur et pas de l'extérieur, ils se cachent derrière le vitrage. Ce procédé de construction a créé une ouverture directe sur l'espace bureau, occupé par le vitrage qui est en conséquence, le seul élément qui sépare l'environnement intérieur de l'extérieur, par une épaisseur d'ordre de **2 cm**. Une autre partie du vitrage qui a une surface moins petite, par rapport à la première, se situe derrière une assise en maçonnerie, qui se lève d'une hauteur allée du 20cm à 90cm au sol. Les éléments qui séparent ainsi l'intérieur de l'extérieur, sont : le produit verrier, un profilé métallique et l'assise de maçonnerie.

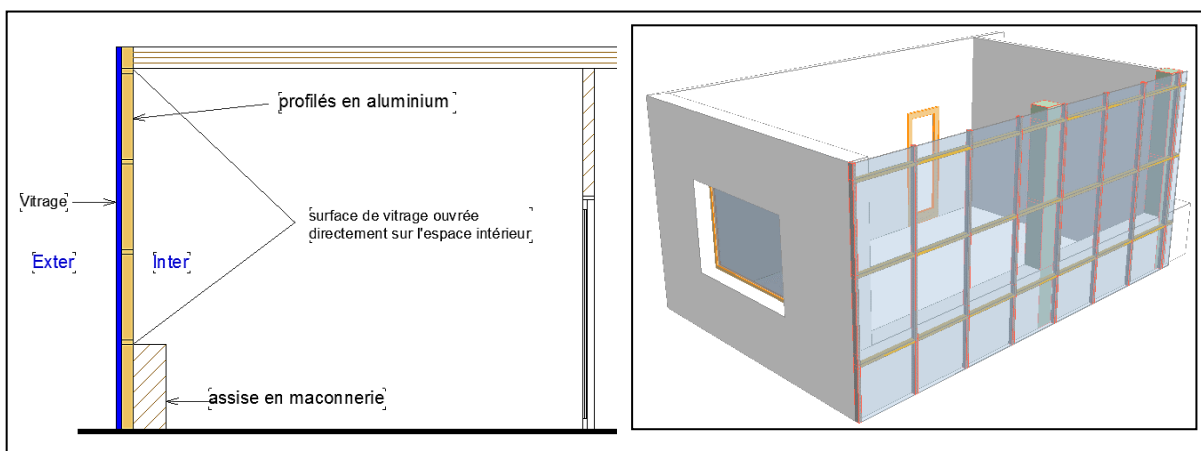


Figure V.6: coupe vertical & vue en 3d montrant l'emprise de la surface vitrée dans le bureau.

De plus, le retrait des panneaux vitrés dans l'épaisseur de mur est égal 0, le vitrage est positionné directement à l'extérieur dépourvu de toute possibilité d'ombrage créée par l'embrasure (facteur d'ombrage égale 0).

Dans ces murs rideaux, les panneaux vitrés utilisés sont composés de deux plaques de vitrage de type simple ou trempé, chacune a une épaisseur de 4 à 5mm, et séparées par un vide d'une dimension de 9 à 10mm. Un film réfléchissant collé sur la face 2 de la plaque extérieure, permet de créer un effet miroir et de voir seulement de l'intérieur vers l'environnement extérieur.

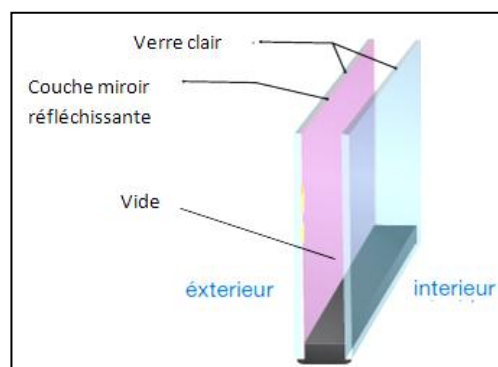


Figure V.7: composition du double vitrage utilisé dans les baies des trois bâtiments.

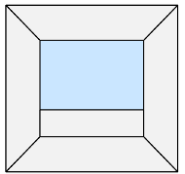
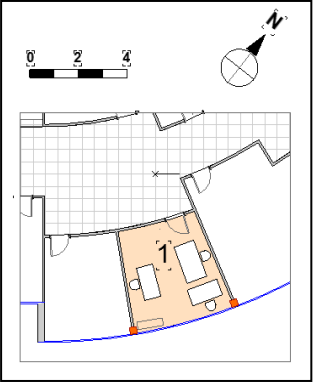

V.6 NIVEAU I : Analyse descriptive :

Dans cette première étape, à l'aide d'une analyse descriptive, nous examinons d'un côté, l'asymétrie de température entre la surface vitrée et la température des parois de bureau et d'un autre côté, entre la température de l'air ambiant et la température radiante au sein de chaque espace de bureau. L'objectif de cette partie est de voir le comportement thermique des parois vitrées dans le bilan de la température radiante au sein de l'espace.

V.6.1. Siège du Tourisme.

Période de mesure : 13 octobre 2016.

V.6.1.1 Espace de bureau 01 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud est		
surface vitrée	8.46m ² (72%)		
Type de vitrage	double vitrage		
Protection solaire	sans		
occupation	2 personnes		

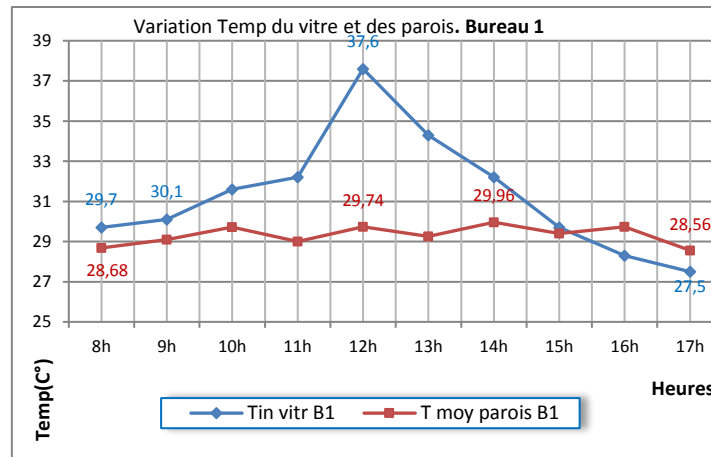
V.6.1.1.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

D'après les profils de température en dessous (Graphe V.1), la variation de température de vitrage est très remarquable durant les heures de la journée, tandis que la variation des valeurs de température des parois est faible voir non remarquable.

Durant la matinée de 8h à 11h, l'écart de température entre la surface vitrée et les parois n'est pas très élevé, il est d'ordre de 1.7°C, cependant, à partir de 11h00, la température de vitrage connaît une augmentation pour atteindre un maximum de 37.6°C à 12h00 avec un écart de 7,8°C par rapport à la température de parois (29.74°C). Après, la température de vitrage est diminuée jusqu'à où elle s'approche à celle de parois à 15h00. Dans ce moment, l'écart de température entre vitrage et parois n'est pas significatif.

On constate que, dans la période de 11h00 jusqu'à 15h00, il y a une augmentation importante de température de vitrage, à cause des radiations solaires intense tombant sur la façade orientée Sud-est (1393 Wh/m²)². Une asymétrie de température résulte ainsi entre surface vitrée et surface parois, peut être une source de surchauffe (pourcentage de vitrage est 72% et sans aucune protection).

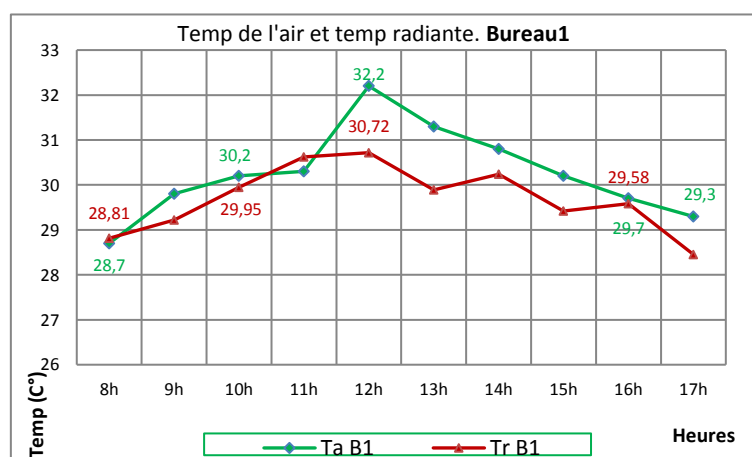
² Energie incidente sur le plan verticale **Sud-est** de 11h30 à 15h, source atlas solaire de l'Algérie, Tome2, p 243.



Graphe V.1: valeurs de température de vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment tourisme).

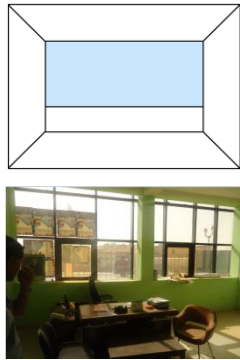
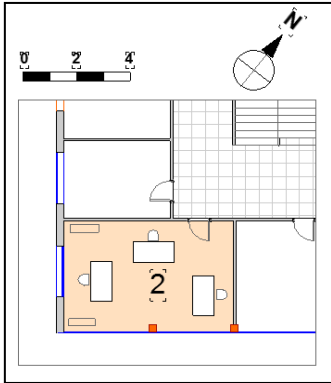
V.6.1.1.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

Pendant la période matinale, de 8h00 à 11h00, les variations entre les valeurs de température de l'air et température radiante ne sont pas marquantes, (un écart de 0.32°C). À partir de 11h30 jusqu'à 15h00, un écart peu remarquable entre les deux températures, en effet, à 12h00, les valeurs de température atteintes leur max, il est enregistré 32.2 °C pour la température de l'air ambiant, et 30.72°C pour la température radiante (Graphe V.2)). L'écart de température dans cette période (11h30 à 15h00) est d'ordre de 0.87 °C. On peut conclure que, l'asymétrie thermique entre l'air et parois radiantes est faible (1°C de différence), sauf, dans la période après-midi, à cause de rayonnement solaire incident sur la paroi vitrée et qui transmis à l'intérieur (absence de protection), peut causer une augmentation de température intérieur et par la suite une asymétrie thermique.



Graphe V.2: profil de température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment tourisme).

V.6.1.2 Espace de bureau 02

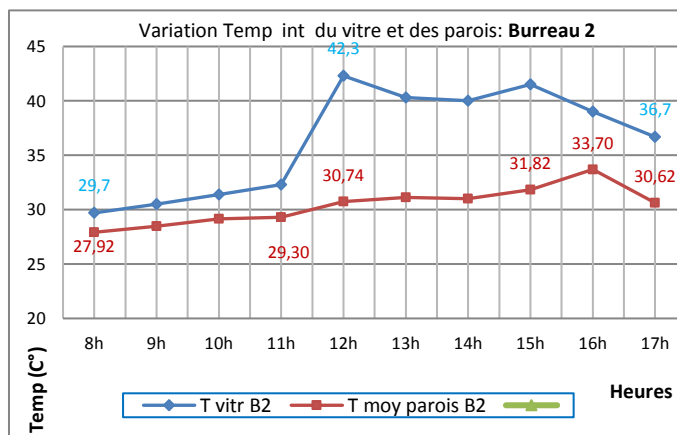
Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud est		
surface vitrée	13.22m ² (70%)		
Type de vitrage	double vitrage		
protection	sans		
occupation	3 personnes		

V.6.1.2.1 Températures surfaciques vitre et parois :

Au matin, l'écart entre vitre et parois est assez important (2°C), à midi une augmentation significative de température du vitre (42.3°C) avec un écart de 11.56°C par rapport aux parois (Graphe V.3). La différence entre température de vitre et parois reste significative et se continue jusqu'à la fin du travail (17h00), avec un écart moyen de 8,47°C. Cela s'explique par les radiations solaires qui frappent la paroi vitrée orientée Sud-est et sud-ouest (3314wh/m²)³ l'après-midi. L'asymétrie thermique entre vitrage et parois opaques est marquante dans cette période.

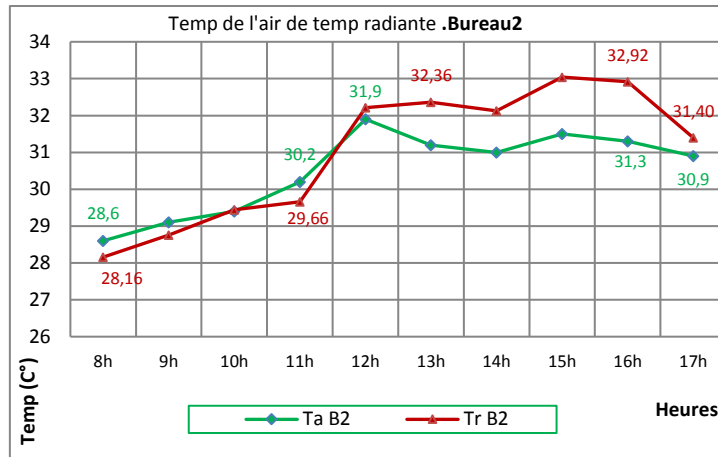
V.6.1.2.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

De 8h à 12h, les profils de température de l'air et radiante ont des valeurs similaires, après, une différence de température entre l'air et parois, est peu remarquable à partir de 13h00, le grand écart entre les deux températures est marqué à 16h00, il est 1.62°C (Graphe V.4). Après la température radiante commence à diminuer en suivant la température de l'air.



Graphe V.3: profil de température de vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment tourisme)

³ Energie incidente sur le plan verticale **Sud-ouest** de 12h à 17h, source atlas solaire de l'Algérie, Tome2, p 243.



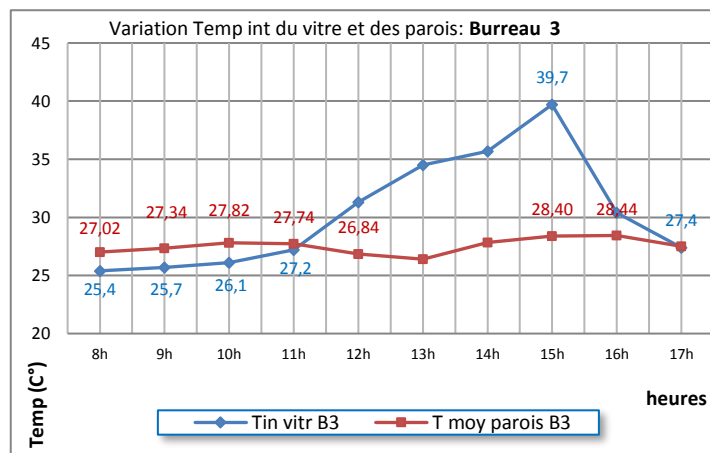
Graphe V.4: profil de température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment tourisme).

V.6.1.3 Espace de Bureau 03 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
	Bureau 03			Bureau 04
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud-ouest	Nord-est	
surface vitrée	2.63 m ² (30%)		
Type de vitrage	simple vitrage		
protection	sans		
occupation	3 personnes	2 personnes	

V.6.1.3.1 Températures surfaciques vitre et parois :

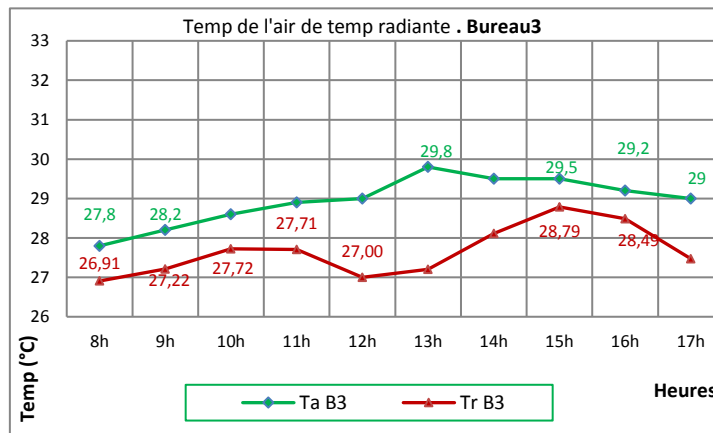
Une augmentation de température de la vitre par apport aux parois a commencé à partir de 12h, la grande différence (11.3°C) est enregistrée à 15h, puis le profil de température de vitrage à commencer à diminuer. Durant la période entre 12h et 15h, une asymétrie thermique marquante entre le vitrage et les parois dans ce bureau.



Graphe V.5: profil de température de vitrage et des parois, bureau 03. (Bâtiment tourisme).

V.6.1.3.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

Les deux profils de température sont presque similaires, sauf une différence de 1.80°C entre 11h et 14h est peu remarquable.

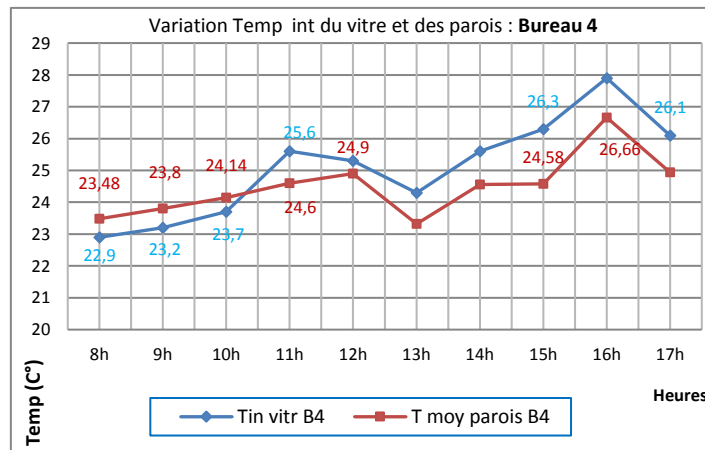


Graphe V.6: profil de température de l'air et température radiante, bureau 03. (Bâtiment tourisme).

V.6.1.4 Espace de bureau 04 :

V.6.1.4.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

Les profils de températures de la vitre et des parois dans le bureau 4, sont similaires, ils se prennent le même sens. L'écart de température qui peut être marqué est d'ordre de 1.29 °C, dans la période entre 14h et 17h. Il s'est expliqué le fait que les radiations solaires qui frappent le vitre orienté Nord-est, dans la matinée, ne sont pas intenses (913wh/m²)⁴, et pendant une durée courte (de 8h à 11h).

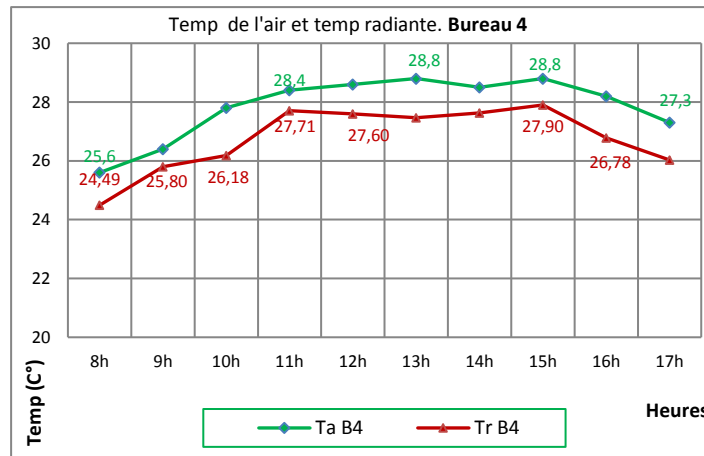


Graphe V.7: profil de température de vitrage et des parois, bureau 04. (Bâtiment tourisme).

⁴ Energie incidente sur le plan verticale Nord-est de 8h à 11h, source atlas solaire de l'Algérie, Tome2, p 245

V.6.1.4.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

D'après les profils de températures (Graphe V.8) en ci-dessous, on remarque qu'il n'y pas une grande différence entre température de l'air et celle de parois durant toutes les heures du travail. L'écart moyen entre les deux températures est 1.06°C .




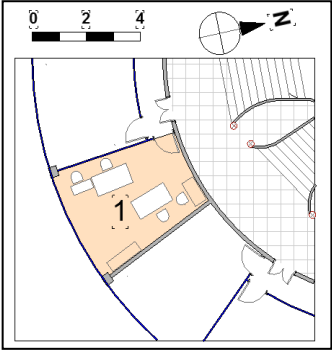
Graphe V.8: profils de température de l'air et température radiante, bureau 04. (Bâtiment tourisme).

V.6.1.5 Synthèse :

On constate d'après cette lecture des paramètres mesurés que, l'asymétrie entre la température des vitres et température moyenne des parois est remarquable dans les espaces bureaux orientés Sud-est et Sud-ouest, les baies de ces bureaux reçoivent des quantités des radiations solaires importantes au cours du jour, chose qui augmente leur température surfacique. Pour la température radiante et parois, la différence entre les deux n'est très marquant dans l'ensemble des espaces, il est d'ordre $1,2^{\circ}\text{C}$.

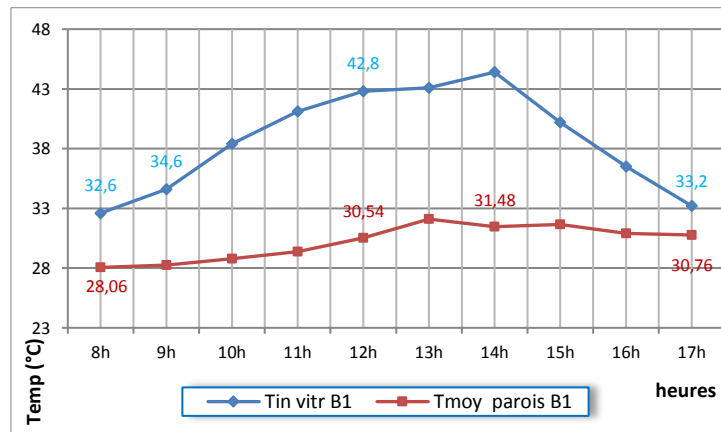
V.6.2. Siège de la DTP. Période de mesure : 16 octobre 2016.

V.6.2.1 Espace de bureau 01 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud S-est		
surface vitrée	9.16m ² (69%)		
Type de vitrage	double vitrage		
Protection solaire	Rideau inter moy (g _{tot} =0,55)		
occupation	2 personnes		

V.6.2.1.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

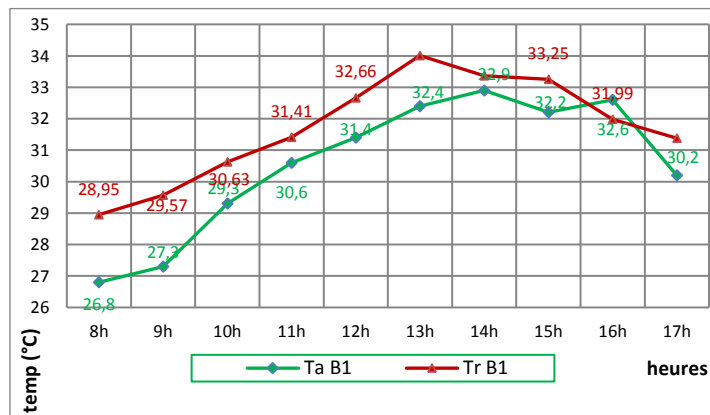
Dans ce bureau 1, la différence entre la température de la vitre et des parois est très marquante durant toutes les heures (8h à 17h) de la journée. L'écart moyen entre les deux températures est 8,5 °C. cela peut s'expliquer par l'exposition de la surface vitrée (9.16m²) orientée Sud-est, au rayonnement solaire direct durant une période importante de la journée (4410 Wh/m²)⁵.



Graphe V.9: Courbes de température du vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment DTP)

V.6.2.1.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

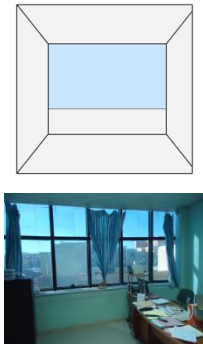
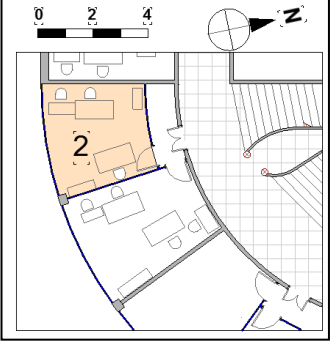
D'après les profils de température, on constate une asymétrie thermique peu distincte entre la température radiante et de l'air ambiant. L'écart moyen de température durant la journée est de 1,5 °C.



Graphe V.10: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment DTP).

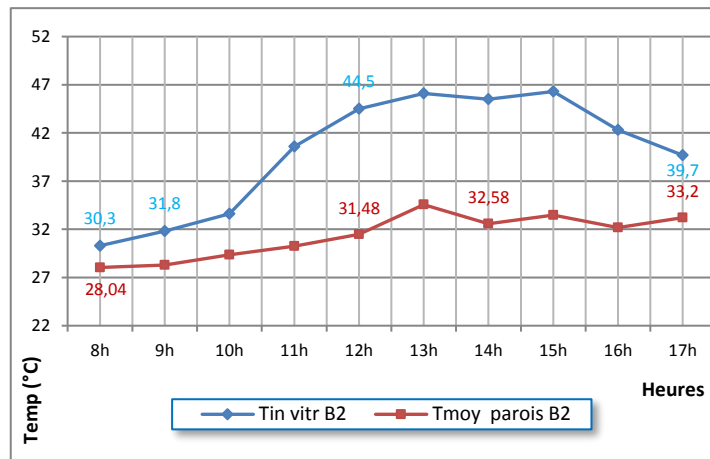
⁵ Total d'Energie globale incidente sur le plan vertical Sud-est en journée du mois d'octobre, Ibid., p 243.

V.6.2.2 Espace de Bureau 02 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud		
surface vitrée	9.16m ² (69%)		
Type de vitrage	double vitrage		
Protection solaire	Rideau inter moy (g _{tot} =0,55)		
occupation	2 personnes		

V.6.2.2.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

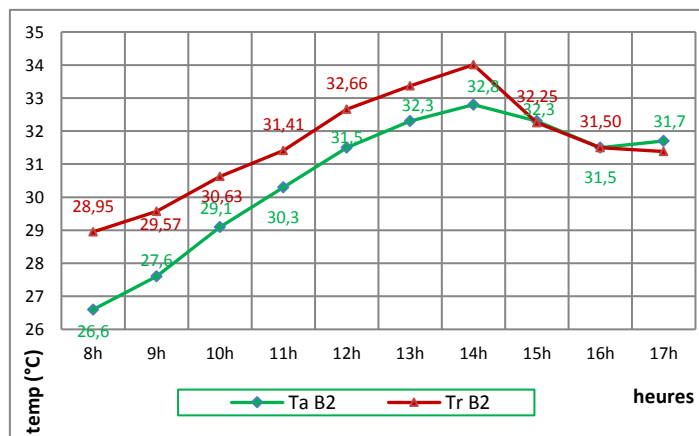
Dans la période entre 8h et 10h, l'écart de température entre vitre et parois était d'ordre 3,34 °C, après la surface intérieure du vitrage connaît une augmentation de température en faisant un écart d'ordre de 11 °C avec la température moyenne des parois. Cette augmentation de température de vitrage est interprétée par, l'effet de l'énergie solaire totale incidente sur la façade Sud exposée durant la journée (5042 Wh/m²)⁶.



Graphe V.11: Courbes de variation de température du vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment DTP)

V.6.2.2.2 Température de l'air et température moyenne radiante :

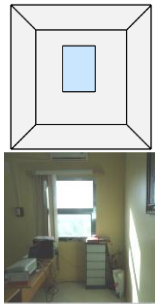
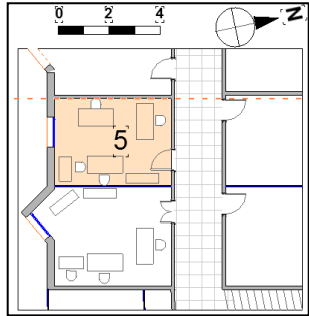
Une asymétrie thermique peu remarquable entre l'air et parois durant la période de 8h à 14h, là, l'écart de température est 1,5°C. Après 14h, la courbe de température radiante suit l'évolution de la température de l'air ambiant.



Graphe V.12: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment DTP).

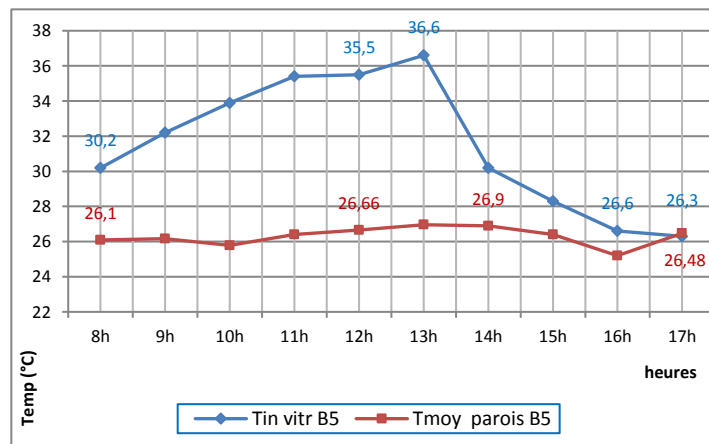
⁶ Total d'Energie globale incidente sur le plan vertical Sud en journée du mois d'octobre, Ibid., p 242.

V.6.2.3 Espace de bureau 05 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud sud-ouest		
surface vitrée	1,71m ² (18%)		
Type de vitrage	Simple claire 6mm		
Protection solaire	Store à lame vertical inter clair($g_{tot}=0,50$)		
occupation	3 pers		

V.6.2.3.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

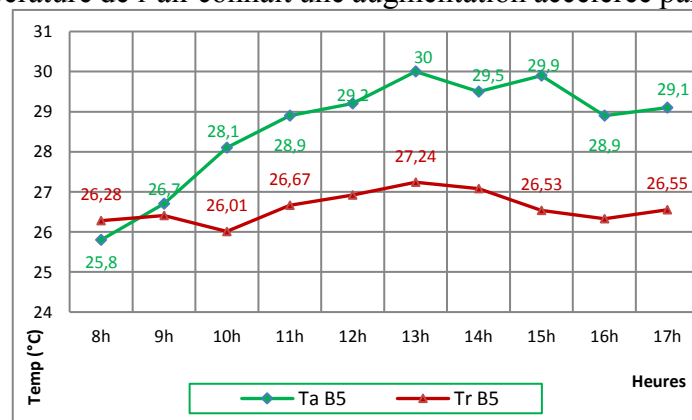
Les profils (Graphe V.13), montrent une différence de température durant la période de 8h à 13h entre température du verre de la fenêtre et des parois, l'écart dans cette période égale 7.6 °C. Cela est provoqué par l'exposition de vitrage orienté Sud-ouest au rayonnement solaire **direct (3490wh/m²)**⁷. Après 13h, la température du vitrage commence à approcher (écart de 1,6 °C) de celle des parois.



Graphe V.13: Courbes de variation de température du vitrage et des parois, bureau 05. (Bâtiment DTP)

V.6.2.3.2 Température de l'air et température moyenne radiante :

Dans ce bureau 5, l'évolution de la température de l'air connaît une augmentation accélérée par rapport à celle des parois, respectivement de l'ordre de 4.1 °C (0.51 °C/h) pour l'air et 0.91°C (0.16°C/h) pour parois. Cette légère évolution de température des parois s'est expliquée par l'absence de **grandes surfaces vitrées** qui peuvent augmenter le bilan radiatif, seul une surface de 1.70m² de vitrage percé dans le mur, donnant ainsi un pourcentage d'ouverture de 17%.



Graphe V.14: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 05. (Bâtiment DTP).

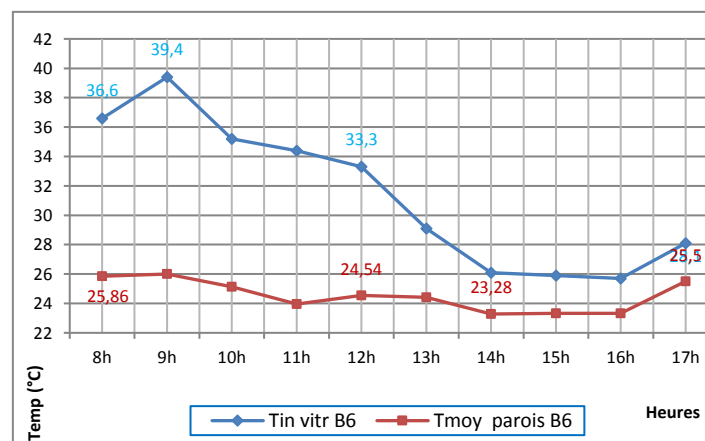
⁷ Energie incidente sur le plan vertical Sud-est entre 8h et 13h en mois d'octobre, Ibid., p 243

V.6.2.4 Espace de bureau 06 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
	Bureau 6			Bureau 7
Condition du ciel :			
Orientation de la vitre	Est	Ouest	
surface vitrée	1,71m ² (18%)		
Type de vitrage	Simple claire 6mm		
Protection solaire	Store à lame vertical inter clair ($g_{tot}=0,50$)		
occupation	1 pers	3 pers	

V.6.2.4.1 Températures surfaciques, vitre et parois

Dans cet espace (bureau 6) orientée Est, l'écartement entre la température de vitrage et des parois est distingué dans la période de la matinée (8h à 12h). Une marge de 10 °C en moyenne entre les deux températures. Cela est dû sous l'effet des radiations solaire direct sur la façade Est (2689 Wh/m²)⁸ durant cette période. Dans la période après midi (13h à 17h), la température de vitrage comment à diminuer et suivre régulièrement celle des parois, avec une différence de 2 °C.

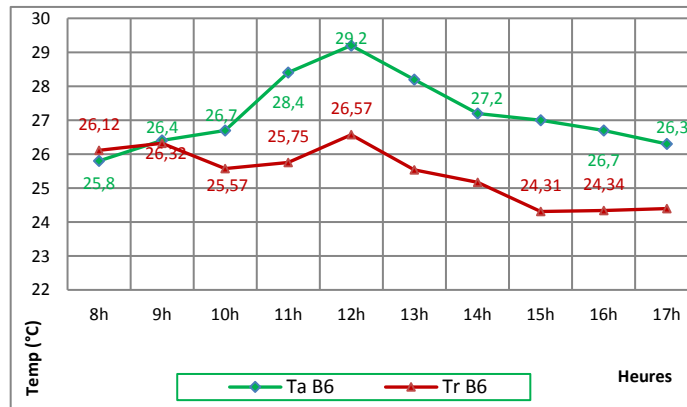


Graphique V.15 : Courbes de variation de température du vitrage et des parois, bureau 06. (Bâtiment DTP).

V.6.2.4.2 Température de l'air et température moyenne radiante :

D'après les profils en ci-dessous (Graphique V.16), on peut constater une irrégularité thermique négligeable (1,7°C d'écart en moyenne durant la journée) dans cet espace de bureau.

⁸ Energie incidente sur le plan vertical **Est** entre 8h et 12h en mois d'octobre, Ibid., p 244

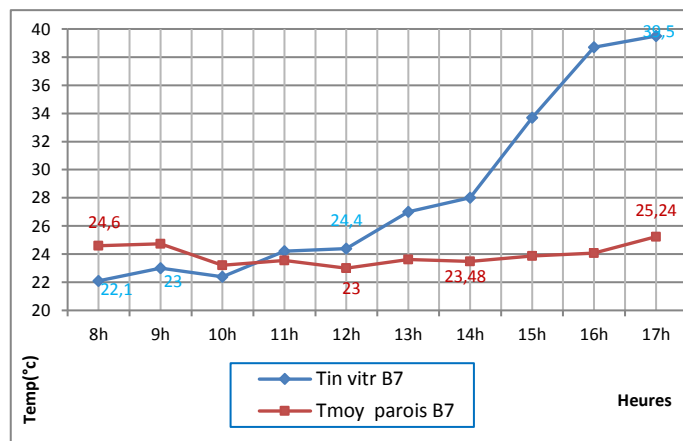


Graphe V.16: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 05. (Bâtiment DTP).

V.6.2.5 Espace de bureau 07 :

V.6.2.5.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

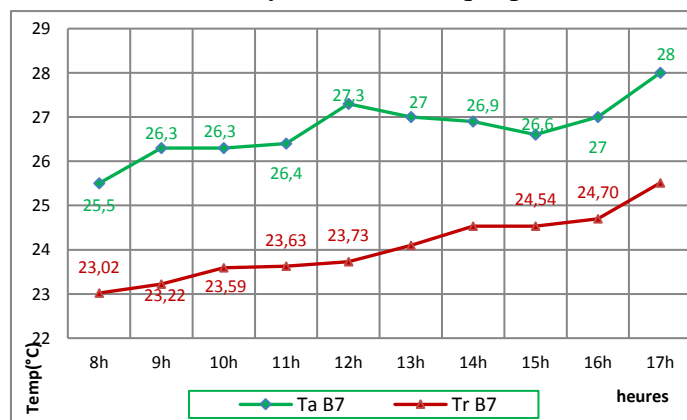
Dans cette espace de bureau, la température du vitrage commence à élever à partir de 14h, pour faire une différence avec la température des parois de 14°C à 17h. Dans cette période (14h à 17h), les rayons solaires viennent de frapper directement la vitre orientée Ouest avec une énergie incidente de (1814 wh/m²)⁹, chose qui a augmenté la température du verre.



Graphe V.17: Courbes de variation de température du vitrage et des parois, bureau 07. (Bâtiment DTP).

V.6.2.5.2 Température de l'air et température moyenne radiante :

Les profils de température (Graphe V.18), montrent une dissymétrie thermique peu distincte et régulière entre l'air et parois pendant les heures de la journée (8h à 17h). L'écart moyen entre les deux températures (air et parois) est égal 2,4°C. Rappelons que, dans ce bureau (7), la surface d'ouverture vitrée est 1,70m² ce que fait un indice de vitrage de 17% sur la façade, en plus elle dotée d'un store intérieur à lame verticale clair (g_{tot} = 0,48), donc la part de température radiative de vitrage est négligé.

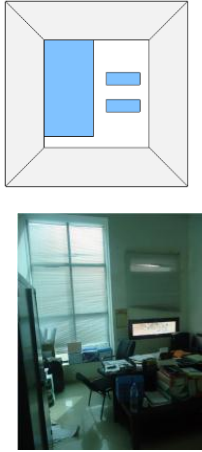
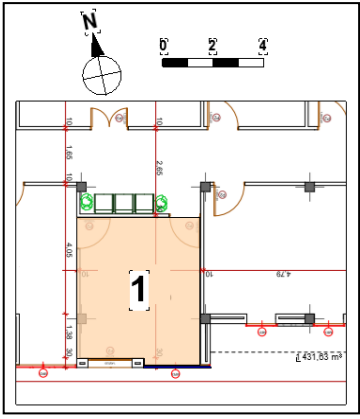


Graphe V.18: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 07. (Bâtiment DTP).

⁹ Energie incidente sur le plan vertical **Ouest** entre 14h et 17h en mois d'octobre, source Atlas Solaire de l'Algérie, Tome2, p 244

V.6.3. Bâtiment de la DUAC. (Période de mesure : 18 octobre 2016)

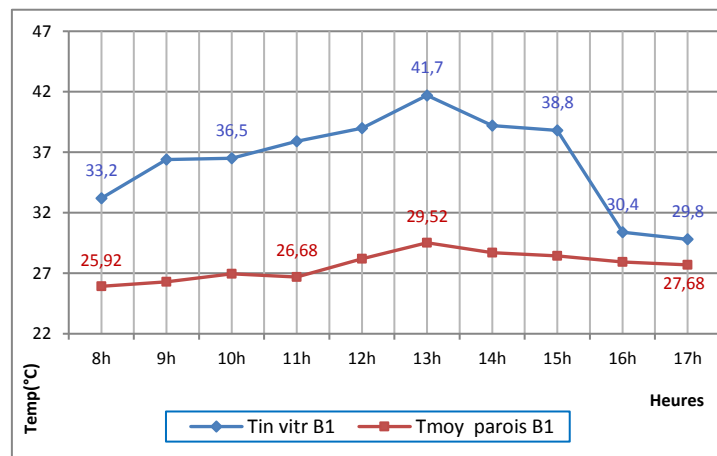
V.6.3.1 Espace de Bureau 01 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan de l'espace
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud-sud-ouest		
surface vitrée	6,30m ² (43%)		
Type de vitrage	double vitrage 4/9/4		
Protection solaire	Store à lame verticale clair (g _{tot} =0,50)		
occupation	2 personnes		

V.6.3.1.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

Durant la période de 8h à 15h la différence de températures surfaciques intérieures entre vitre et parois est marquante (L'écart x entre les deux températures est 10°C). En effet, le progrès de la température de la vitre de 8h à 13h est 1.3°C/h. cependant, l'élévation de la température des parois dans la même période est de 0.6°C/h. cela peut s'expliquer par le flux thermique convectif de l'air chaud extérieur vers la surface vitrée et l'effet des radiations solaires incidentes sur la vitre orienté Sud (**2909 Wh/m²**)¹⁰.

À partir de 16h la température de la vitre est diminuée, résulte ainsi une différence de 2°C avec la température surfacique des parois.

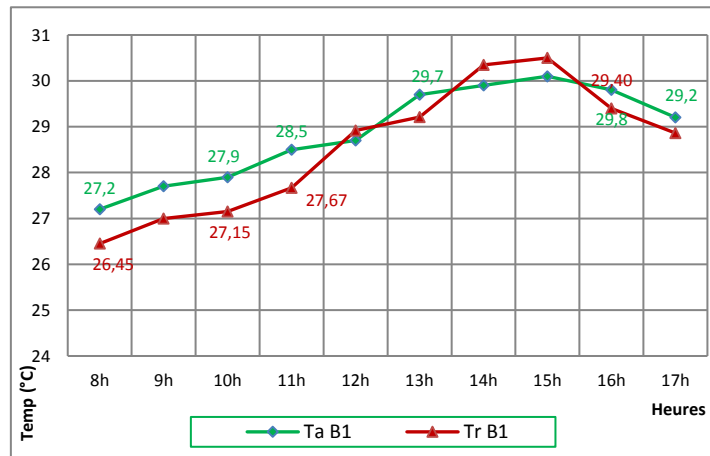


Graph V.19: Courbes de température du vitrage et des parois, bureau 01. (Bâtiment DUAC).

V.6.3.1.2 Température de l'air et la température moyenne radiante :

D'après les profils en ligne de température montrés dans le (Graph V.20) on constate que les courbes de température de l'air intérieur et la température radiante prennent le même sens d'évolution durant les heures de la journée et avec des valeurs plus proches (une différence de 0,50 °C en moyenne). Donc, aucune asymétrie thermique entre l'air et parois ne peut enregistrer dans ce bureau 1.

¹⁰ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Sud** de 8h à 15h en journée du mois d'octobre, Ibid., p 242



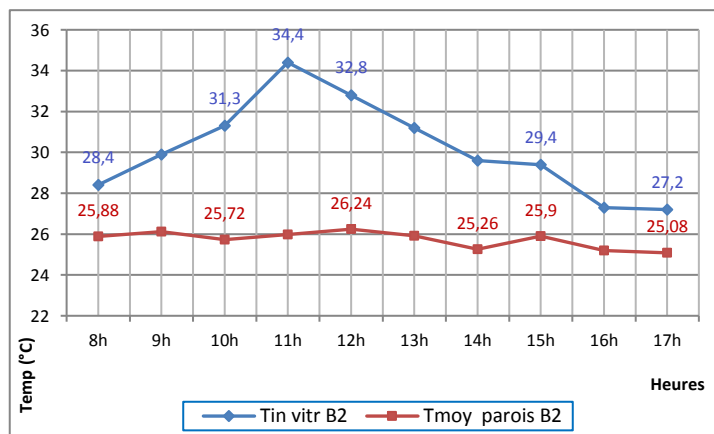
Graph V.20: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 01. (Bâtiment DUAC).

V.6.3.2 Espace de Bureau 02 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Est-sud est		
surface vitrée	6,1 m ² (54%)		
Type de vitrage	double vitrage 4/9/4		
Protection solaire	Store à lame verticale clair (g _{tot} =0,50)		
occupation	2 personnes		

V.6.3.2.1 Températures surfaciques, vitre et parois

Les valeurs de température de la vitre connaissent une augmentation progressive (1,5°C/h) entre 8h et 11h du matin, puis, elles commencent à diminuer. L'écart entre la température de la vitre et celle des parois est marquant (6°C de différence) dans la période de 10h à 14h. Cet intervalle de différence est causé suite aux radiations solaires directes (2934wh/m²)¹¹ frappant la paroi vitrée durant ce temps (10h à 14h), chose qui élève la température surfacique du vitrage.

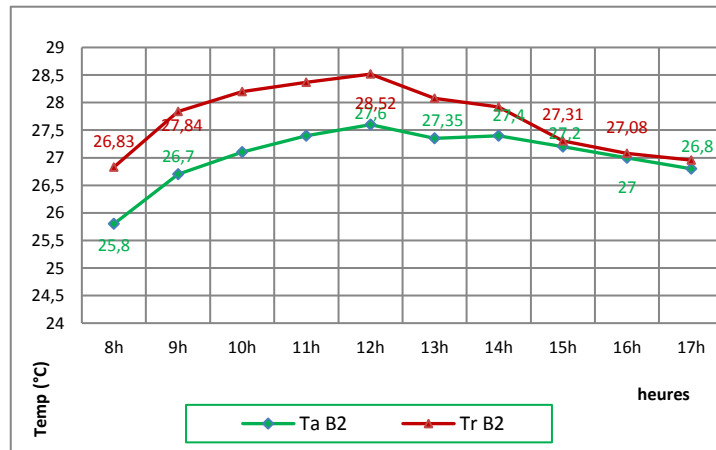


Graph V.21: Courbes de température du vitrage et des parois, bureau 02. (Bâtiment DUAC).

¹¹ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical Est de 8h à 14h en journée du mois d'octobre, Ibid., p 244.

V.6.3.2 Température de l'air et la température moyenne radiante

D'après les courbes de température on remarque l'écart max entre la température radiante et la température de l'air ambiant est $1,14^{\circ}\text{C}$ à la matinée, tandis que à l'après midi l'écart max atteint $0,52^{\circ}\text{C}$ à 14h, la marge moyenne durant la journée est $0,67^{\circ}\text{C}$. En effet, ces valeurs de différence ne sont pas très significatives, ce qu'apporte par conséquent, une régularité thermique entre air et parois radiantes.



Graphique V.22: Courbes de température de l'air et température radiante, bureau 02. (Bâtiment DUAC).

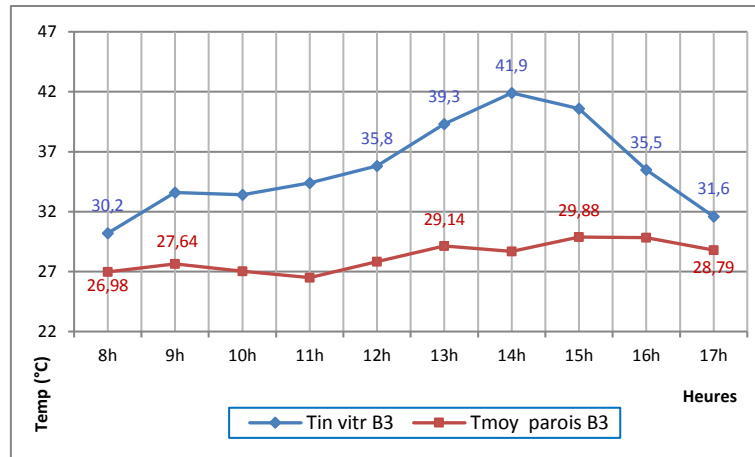
V.6.3.3 Espace de bureau 03 :

Caractéristiques de la baie		Vue en perspective	Vue en plan du bureau
Condition du ciel :	ciel dégagé.		
Orientation de la vitre	Sud-sud-ouest		
surface vitrée	20,80m ² (74%)		
Type de vitrage	double vitrage 4/9/4		
Protection solaire	Store à lame verticale clair ($g_{\text{tot}}=0,50$)		
occupation	4personnes		

V.6.3.3.1 Températures surfaciques, vitre et parois :

Dans le bureau 3 orienté Sud, pendant la période matinale (de 8h à 12h), la différence entre température de vitre et température des parois est 6°C , d'ailleurs, l'après-midi, la température de la vitre connaît une augmentation importante, d'où elle fait en moyenne 11°C de différence (de 13h à 15h) comparativement à la température des parois (Graphique V.23). Cela se traduit par l'effet du rayonnement solaire direct intense qui arrive directement sur la paroi vitrée Sud (1835 Wh/m^2)¹² durant les trois heures (13h à 15h). Après ce moment, la température de la vitre commence à diminuer et faire un écart moyen avec la température des parois, moins petit (4°C), en comparaison aux trois heures précédentes.

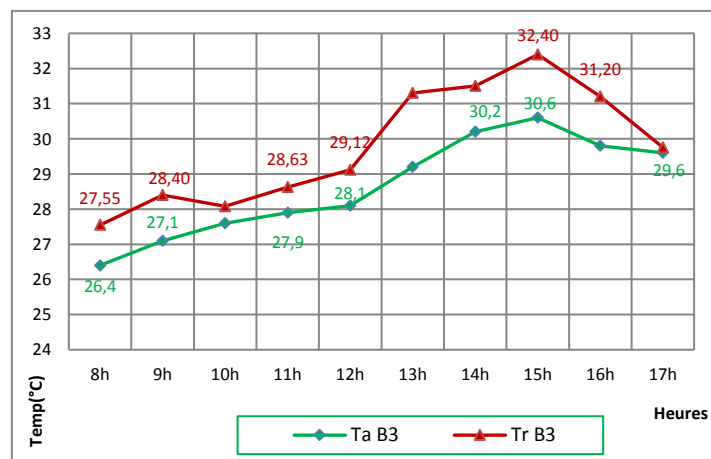
¹² Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Sud** de 13h à 15h en journée du mois d'octobre, Ibid., p242.



Graphe V.23: Courbes de température de l’air et température radiante, bureau 03. (Bâtiment DUAC)

V.6.3.3.2 Température de l’air et la température moyenne radiante :

Le graphe ci-dessous, montre que le profil de températures moyennes radiantes a des valeurs relativement plus hautes par rapport aux valeurs de la température de l’air intérieur, au cours des heures de la journée. Cela peut s’expliquer par l’effet de la paroi vitrée qui augmente le bilan de la température radiante (une surface de 20.80m² soit un indice d’ouverture vitrée de 74%). En effet, l’écart moyen de la température entre les parois radiantes et l’air ambiant est 1,14°C, cette valeur montre d’un côté une asymétrie thermique peu significative, et d’un autre coté un problème de l’effet du rayonnement des parois vers les objets intérieurs localisés au bureau (voir section 4.2.4 du chapitre I).



Graphe V.24: Courbes de température de l’air et température radiante, bureau 03. (Bâtiment DUAC)

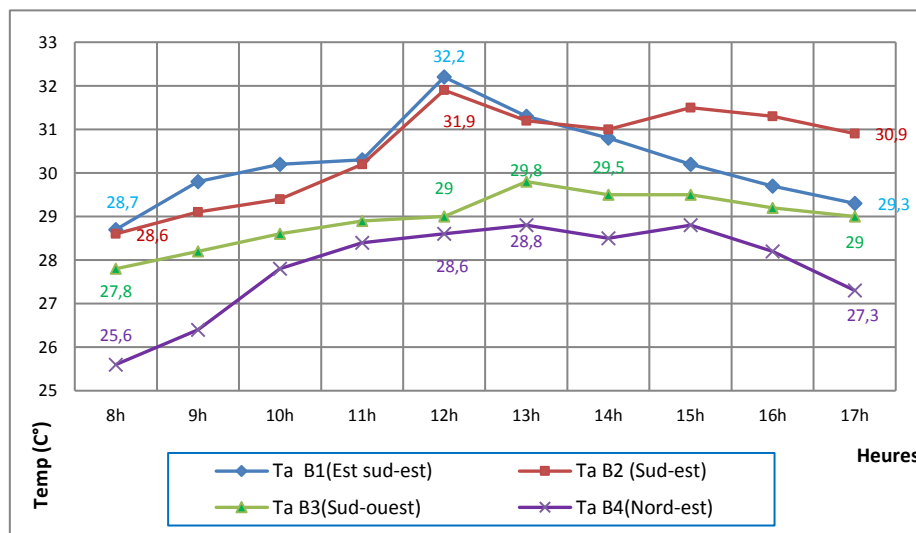
V.7 NIVEAU II : Analyse corrélative : les dimensions de la baie et les paramètres thermiques mesurés.

Dans cette deuxième phase nous allons analyser, comment chaque variable de la baie vitrée, peut agir sur le changement des paramètres thermiques intérieurs mesurés, dans chaque bureau. Cette étape a pour objectif est d'identifier l'effet de chaque dimension de la baie sur les facteurs du microclimat intérieur, puisque ces derniers vont constituer après les données qui composent les indices d'évaluation de l'état thermique de l'occupant.

V.7.1. Bâtiment du Tourisme : période d'octobre :

V.7.1.1 L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (Ta) :

Le Graphe V.25 de température, montre que les deux bureaux (1), (2) orientés Sud-est et Est-sud-est présentent des valeurs de température intérieures que ne sont pas très différentes (marge de 0,2 °C entre les deux), et prennent en plus le même sens d'évolution thermique durant la période de 8h à 14h. Mais après 14h, l'écart est un peu accru (1,5 °C). Cela s'explique par la différence entre la durée d'ensoleillement de chaque façade, (4410 Wh/m² pour la façade sud est, 3156 Wh/m² pour la façade Est-sud-est)¹³. En outre, ces deux orientations (Sud-est et Est-sud-est) ont des valeurs de températures plus hautes (Un écart moyen de 1,56°C) que celles du bureau (3) orienté Sud-ouest. Ce résultat est justifié par la surface vitrée du bureau (3) qui est moins petite (2,63m²) par rapport au bureau (1) (8.46m²) et au bureau (2) (13.22m²), ce que résulte des quantités de transmission de chaleur moins réduites traversant la paroi. Le bureau 4 orienté Nord-est présente les températures ambiantes les plus basses (différence moyenne de 2,6°C avec le bureau 2). Cela est expliqué par l'apport thermique par rayonnement à travers la baie de cette façade qui est faible (1,5 w/m²k)¹⁴ comparativement aux autres orientations (2,1 w/m²k)¹⁵, ce que réduit ainsi la valeur du coefficient de transmission thermique équivalent, ($U_{eq}(NE) = 4,3 \text{ w/m}^2\text{k}$. $U_{eq}(SE), (SO) = 4,7 \text{ w/m}^2\text{k}$).



Graphe V.25: courbes de température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées ESE, SO, SE et NE. (Bâtiment Tourisme).

¹³ Totaux d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Sud-est** et **Est** en journée du mois d'octobre, source Atlas solaire de l'Algérie, Tome2, p243-244.

¹⁴ L'apport par rayonnement de la façade Nord-est, source : Schittich, et al. 2012, p124.

¹⁵ L'apport par rayonnement de la façade Sud-est et **Sud-ouest**, Ibid.

V.7.1.2 Le système de protection et la température de l'air intérieur :

Dans ce bâtiment (siège du Tourisme), les espaces de bureaux ne possèdent aucun système de protection solaire au niveau des baies vitrées. Ces ouvertures, sont exposées directement aux radiations solaires dans toutes les périodes de l'année, à cet effet, l'énergie transmise à l'intérieur traverse directement le vitrage, l'absorption du rayonnement solaire avant et après qu'il frappe la paroi vitrée est égale 0. Donc, cela donne un facteur $g_{\text{tot (vitre +prot)}} =$ le facteur g_{vitre} , par la suite un facteur minorant f égale 1. Pour les bureaux (1) et (2,) le facteur solaire g est égale 67% (double vitrage) et pour les bureaux 3 et 4 le facteur g égale 85% (simple vitrage). Alors pratiquement, le pourcentage d'énergie transmis à l'intérieur à travers les surfaces vitrées des bureaux (3) et (4) est plus grand que celui entré aux bureaux (1) et (2), ce qu'augmente par suite, la température de l'air intérieure. Cependant, on remarque d'après le Graphe V.25 en ci-dessus que, les valeurs de températures mesurées dans les bureaux 1 et 2 sont plus élevées que celles des bureaux 3 et 4, cela est justifié par d'autres variables que sont, la différence entre les surface des baies vitrées des bureaux et leur orientations (l'effet de ce facteur est déjà expliqué dans la section V.7.1.1 précédente.

V.7.1.3 Le type du vitrage et la transmission thermique :

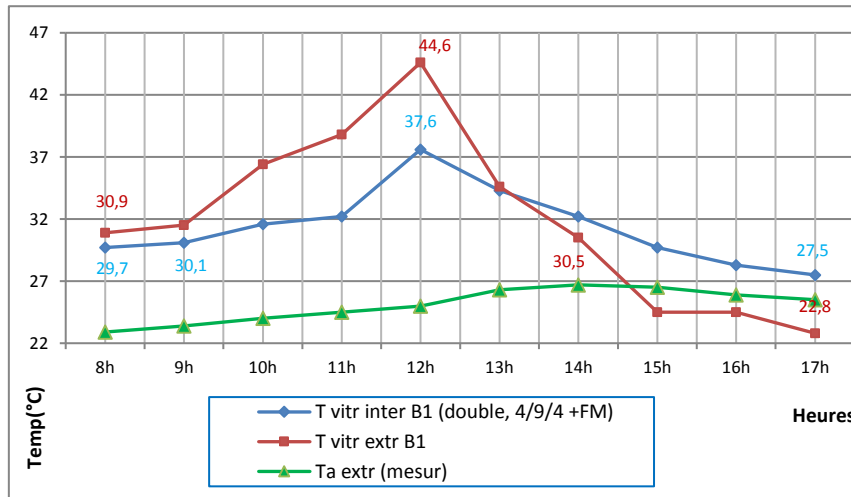
Pour saisir l'effet du type du vitrage sur la transmission de la chaleur à l'intérieur et le bilan radiatif, on pratique une procédure de comparaison entre les valeurs de la température de surface extérieure du verre avec celles intérieure.

V.7.1.3.1 Espace de Bureau 01 :

D'après le Graphe V.26 en ci-dessous, on remarque deux temps de fluctuation de température de vitrage. Le premier période est de 8h à 12h, là, les deux températures (intérieures et extérieures) prennent le même sens d'évolution, où elles atteignent leurs valeurs max (37,6°C pour l'intérieure et 44,6°C pour l'extérieure, soit un écart de 7°C) à 12h. Dans cette période, l'écart moyen entre les deux températures est 4,6 °C, soit alors, un pourcentage de transmission de thermique moyen de 84 %. Malgré que le type de vitrage utilisé ici est double (4/9/4), soit ainsi un coefficient (U) de 3,3 w.m²/k, la marge entre température surfacique extérieure et intérieure n'est pas très grande. Cela démontre que le vitrage transmis à travers ses couches, un pourcentage assez important de chaleur. Cette transmission peut s'exprimer par la faible résistance thermique des couches de verre (0,307 m²k/w pour le verre)¹⁶, aussi l'absence d'une couche à basse émissivité (BE) extérieure qui participe relativement à la diminution de transfert de la chaleur (diminue la part de transmission par rayonnement extérieur et par convection). En conséquence, le coefficient de transmission extérieur (h_e) augmente et par la suite le coefficient de transmission thermique (U_o) vas élever (pour plus de détails sur ces paramètres voir les sections 4.4 & 4.5 du chapitre II).

La deuxième période est de 13h à 17h, là, la température de la surface intérieure prend des valeurs plus hautes que celle de l'extérieure, malgré la diminution de cette dernière. L'écart moyen entre les deux, égale 3,85°C. Il est dû à cause de l'augmentation de la température de l'air intérieure dans cette période et son flux convectif avec les parois environnantes (effet de serre).

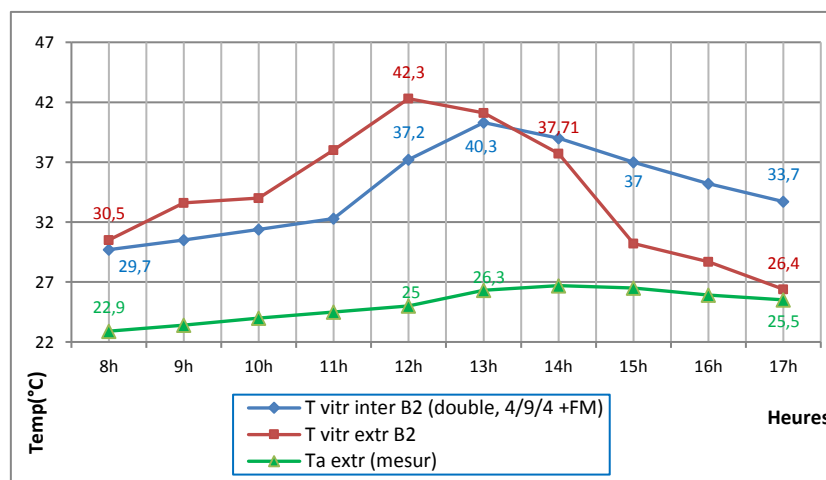
¹⁶ $R_t = (0.004/1.1) \times 2 + 0.13 + 0.17 = 0.307 \text{ m}^2 \cdot \text{k/w}$



Graphe V.26: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Batiment Tourisme).

V.7.1.3.2 Espace de Bureau 02

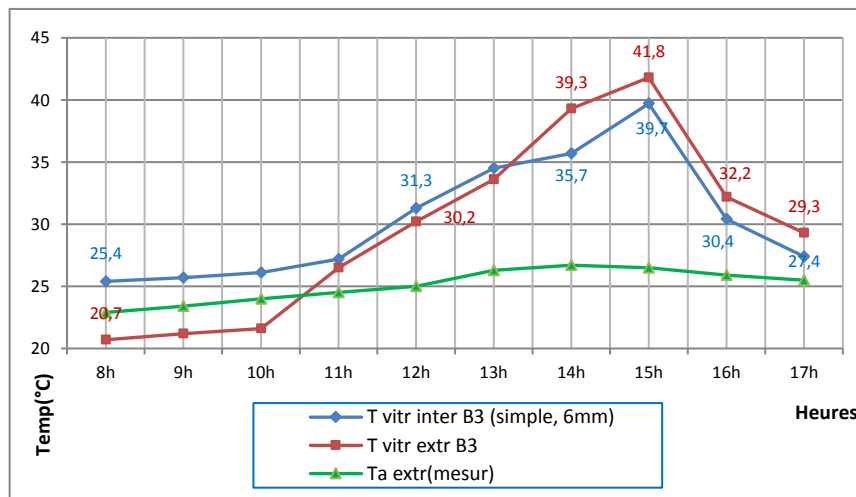
Le Graphe V.27 en ci-dessous montre deux périodes d'évolution, la première est de 8h à 14h, où la température de la surface extérieure de la vitre est restée plus grande que celle de la surface intérieure. L'écart moyen dans ce temps est 3,46 °C, soit un pourcentage de transmission thermique de 86%, s'explique par les flux de conduction (à travers : verre + l'air + verre, (4/9/4) et convectifs à travers l'épaisseur de verre, (4mm), en plus le flux de rayonnement extérieur (absence d'une couche BE). La deuxième période est de 13h à 17h, ici les deux surfaces de verre connaissent une diminution de température (2.9°C/h pour la surface 'extérieure, 1.32°C/h pour la surface intérieure). Cette différence de vitesse d'abaissement de température laisse la surface intérieure a des valeurs de température plus grande que la température de la surface extérieure. Un écart de 5.4°C entre les deux, justifié par l'effet convectif de la température de l'air intérieur avec le vitrage.



Graphe V.27: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Batiment Tourisme).

V.7.1.3.3 Espace de bureaux (3) :

On remarque suite au Graphe V.28 que, pendant la période entre 8h et 13h, la température de la surface intérieure est plus haute que la surface extérieure, dans cette période les radiations solaires puissants n'ont pas encore arrivé sur cette surface vitrée, les flux de transmission par convection et par rayonnement sont faibles. L'augmentation de température de surface intérieure est du grâce à la convection de l'air intérieure qui est réchauffé, vers la vitre. A partir de 14h, la température de la surface extérieure commence à augmenter suite à son réchauffement par le rayonnement solaire. Elle atteint une valeur max (41,8°C) à 15h, tandis que la surface intérieure atteint une valeur de 39,7°C, soit un écart de 3,6 °C. À 17h l'écart entre les deux est égale 1,9 °C, on obtient ainsi, une marge moyenne de 2,3°C entre les deux, durant les quatre heures (de 14h à 17h). En effet, le type de vitrage utilisé ici est un vitrage simple d'épaisseur 6mm, dépourvu de toute sorte de couche BE, ce que résultent une résistance R thermique faible ($0.175 \text{ m}^2.\text{k}/\text{w}$)¹⁷ et un coefficient (U) égale 5,8 w/m²k. Alors pour cela, les flux de transmission thermique par convection et par rayonnement à travers cette vitre augmentent, et par la suite, l'écart entre la température surfacique extérieure et intérieure sera faible.



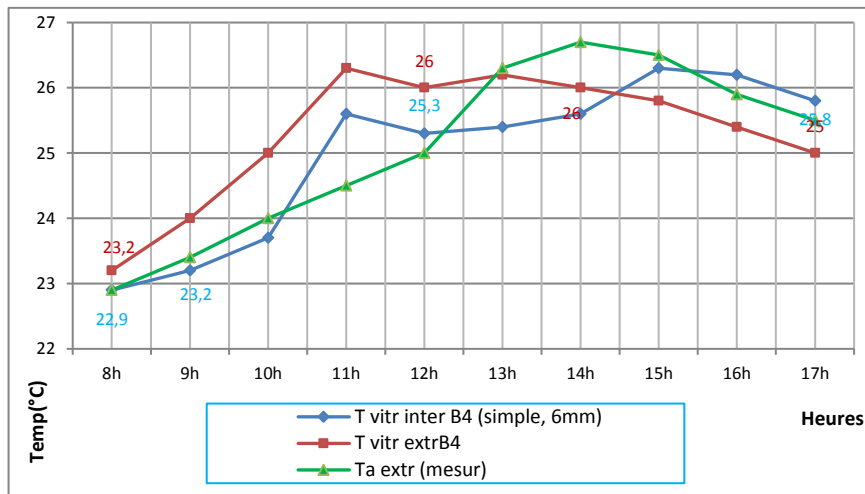
Graphe V.28: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau03 (Batiment Tourisme).

V.7.1.3.4 Espace de bureau 4 :

D'après le Graphe V.29, on peut constater les points suivants : une marge moyenne de faible valeur de 0,7 °C entre les valeurs de température de surface extérieure et les valeurs de température de surface intérieure durant les heures de la journée (8h à 17h). De même, la variation du profil de température de l'air extérieure mesurée est approchée aux profils de température des surfaces de vitrage, l'amplitude entre eux n'est pas remarquable (l'écart moyen avec la température surfacique extérieure de la vitre est 0,72°C). Ces résultats peuvent s'interpréter par la part de transmission par rayonnement solaire à travers le vitrage est faible dans ce cas (bureau 4), la plupart des transmissions de la chaleur se font par l'effet convectif de l'air extérieur vers la surface vitrée. Pour ces raisons, les surfaces vitrées ne connaissent pas

¹⁷ $R = 0.006 / 1.1 + 0.17 = 0.175 \text{ m}^2.\text{k}/\text{w}$

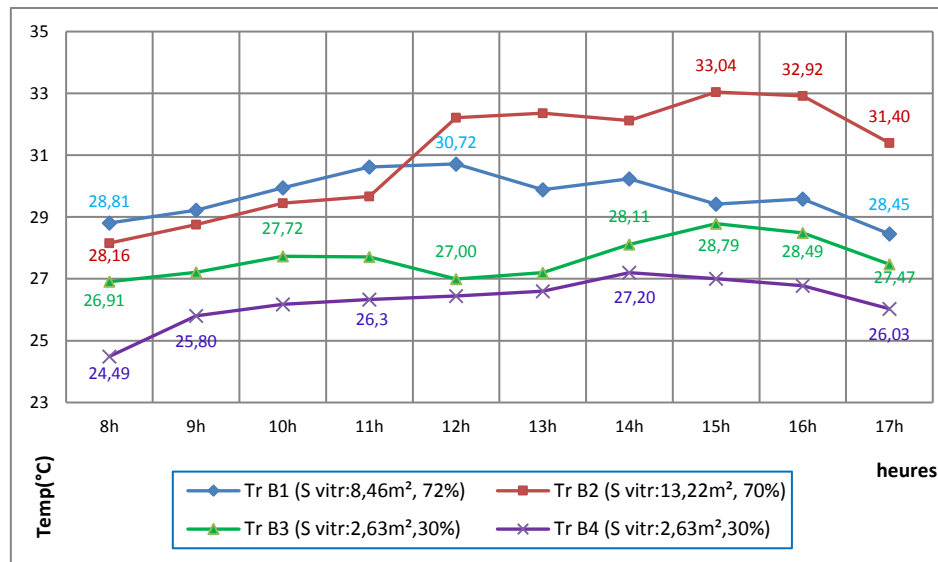
une augmentation importante, malgré que le type de vitrage utilisé conduit plus la chaleur (verre simple, $ep=6\text{mm}$, $R=0.175\text{ m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$, $U=5.8\text{ w}/\text{m}^2\text{k}$).



Graphe V.29: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau04 (Batiment Tourisme).

V.7.1.4 La surface vitrée et la température moyenne radiante (T_r).

Le Graphe V.30 en ci-dessous, montre que les bureaux (1) et (2) ont des valeurs de température moyenne radiante plus grandes que celles des bureaux (3) et (4). L'écart moyen entre la température T_r de bureau (1) et T_r de bureau (3) est $2,10^\circ\text{C}$ et entre T_r de bureau (1) et T_r de bureau (4) est $3,40^\circ\text{C}$. Tandis que la différence moyenne entre la température T_r de bureau (2) et T_r de bureau (3) est $3,35^\circ\text{C}$ et entre T_r de bureau (2) et T_r de bureau 4 est $4,72^\circ\text{C}$. Cet écartement entre les températures radiantes des espaces de bureaux, peut s'expliquer à la fois par, la différence entre le pourcentage d'énergie transmis à travers les/la couche(s) de verre et rayonnée vers l'intérieure. En effet, hormis la quantité d'énergie qui est rayonné par le verre, le pourcentage transmis directement réchauffe les parois intérieures du bureau, ce qu'augmente leur pouvoir de rayonnement et par la suite le bilan radiatif (T_r). Comme on a vu déjà (chapitre II), le pourcentage d'énergie transmis et rayonné à travers et par le verre dépend des propriétés thermo-physiques de verre (U , R , g). On remarque ici que les bureaux (1) et (2) possèdent des types de vitres qui ont des valeurs U et g plus faible ($U=3.3\text{ w}/\text{m}^2\text{k}$, $g=67\%$) par rapport aux vitres des bureaux 3 et 4 ($U=5,8\text{ w}/\text{m}^2\text{k}$, $g=85\%$), et malgré cela, ils ont des valeurs de T_r plus hautes. La variable qui peut justifier cette augmentation est la différence entre les surfaces vitrées sur les façades des bureaux. Pour interpréter l'effet de cette variable, on appuie sur deux indices physiques, qui se sont le coefficient d'absorption du rayonnement solaire S et le coefficient de déperdition surfacique par transmission (D).



Graphe V.30 : courbes de température moyenne radiante dans les quartes bureaux (B1, B2, B3 et B4). (Bâtiment Tourisme).

Le coefficient $S = A \times g_{tot}/S_{sol}$, A : est la surface vitrée(pour plus de détails, voir section 16 du chapitre II), alors pour les quatre bureaux les valeurs de S sont comme ce suit :

$$S(B1) = 44,70, \quad S(B2) = 41,21, \quad S(B3 \text{ et } B4) = 19,84.$$

On remarque que les baies de bureaux 3 et 4 ($S_{vitr} = 2,63m^2$) ont une valeur de S plus faible, ce qui montre que le pourcentage de rayonnement solaire atteignant l'espace intérieur est **plus faible** comparativement aux deux autres bureaux 1($S_{vitr} = 13,22m^2$) et bureau 2 ($S_{vitr} = 8,46$), ce qui ressemble aux résultats du Graphe V.30.

Le deuxième indice est le coefficient de déperdition surfacique (D) qui est donné par la formule : $D = U_t \times A$, d'où, U : est le coefficient de transmission thermique, A : est la surface vitrée. Les valeurs ainsi de D correspondent aux baies des bureaux, sont comme ce suit :

$$D(B1) = 27,91 \text{ w/k}, \quad D(B2) = 43,26 \text{ w/k}, \quad D(B3 \ \& \ B4) = 15,27 \text{ w/k}.$$

On constate que, la valeur D du bureau (2) est la plus grande ce qui informe que les déperditions surfaciques par transmission à travers cette surface sont les plus hautes, en effet, la surface vitrée de ce bureau qui est la plus grande ($13,22m^2$). La valeur D des baies de bureaux (3 et 4) est la plus basse, ça veut dire que les déperditions surfaciques à travers ces surfaces sont basses. La surface de la baie vitrée de ces bureaux est la plus petite ($2,63m^2$) par rapport aux deux autres bureaux (1 et 2). Ces résultats sont conformes, aux résultats montrés par le Graphe V.30.

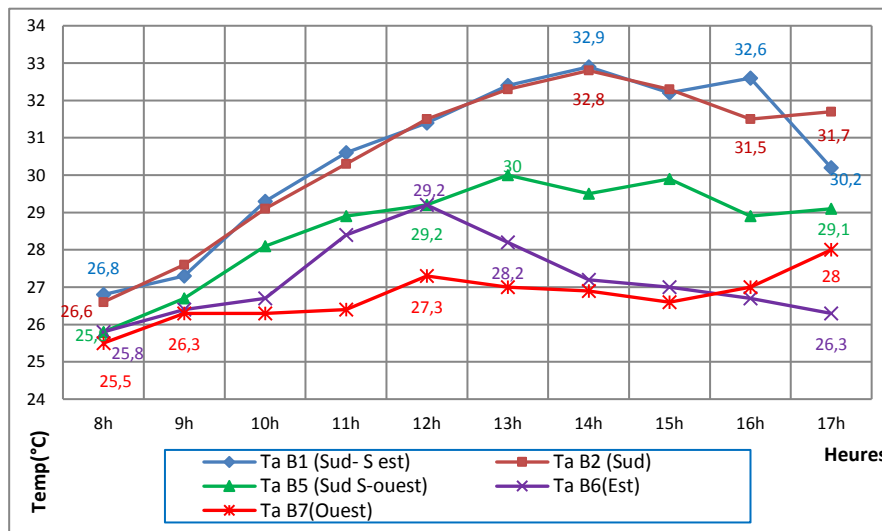
V.7.2. Bâtiment du DTP : période de mi- saison (octobre)

V.7.2.1 L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (T_a) :

D'après les profils de température (Graphe V.31) présentés en ci-dessous, les deux bureaux, B1 orienté Sud sud-est et B2 orienté Sud ont des valeurs de température de l'air qui sont presque les mêmes durant la journée (de 8h à 17h), l'écart moyen égale $0,2^\circ C$. Cela est dû que les deux façades reçoivent la même quantité de rayonnement solaire pendant la journée (5042 Wh/m^2)¹⁸ soit

¹⁸ Total d'Energie globale incidente sur le plan vertical **Sud** en journée du mois d'octobre, Ibid., p242.

un apport par rayonnement est $(2,4 \text{ w/m}^2\text{k})^{19}$. Après on trouve en dessous, le profil de température de l'air du bureau 5 orienté Sud-ouest présente des valeurs plus hautes que le profil du bureau B6 orienté Est, et du bureau 7 orienté Ouest. L'écart moyen entre ces températures (B5 et B6) est $1,42^\circ\text{C}$, et entre B5 et B7 est $1,80^\circ\text{C}$. Il est justifié par la différence entre l'apport thermique par rayonnement solaire. La baie orientée Sud S-ouest reçoit une quantité d'énergie de $(4410 \text{ Wh/m}^2)^{20}$ en journée, soit un coefficient $U_{\text{eq}} = 6,48 \text{ w/m}^2\text{k}$, tandis que les baies orientées Ouest et Est reçoivent une total d'énergie de $(3151 \text{ Wh/m}^2)^{21}$, donc un coefficient $U_{\text{eq}} = 6,2 \text{ w/m}^2\text{k}$



Graphe V.31: courbes de température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées SSE, S, SO, E et O. (Bâtiment DTP).

V.7.2.2 Le système de protection et la température de l'air intérieur :

Dans ce bâtiment (DTP), les baies vitrées des espaces de bureaux possèdent un système de protection type intérieure, réalisé avec les rideaux ou avec store à lame vertical clair. Dans les deux bureaux (1) et (2), le système utilisé est les rideaux intérieurs clairs, ils absorbent un pourcentage de 10% d'énergie solaire traversant la paroi vitrée, ce que donne ainsi un $g_{\text{tot}} = 58\%$ et un facteur minorant $f = 0,86$. En ce qui concerne les autres trois bureaux (5), (6) et (7), le système utilisé est les stores à lame vertical clair, la valeur du facteur solaire total $g_{\text{tot}} = 61\%$, on obtient une valeur d'un facteur minorant $f = 0,71$. On lit que la valeur du facteur f pour bureaux (1) et 2 est plus grande que la valeur f des bureaux (5) (6) et (7), ce que nous informe que les transmissions thermiques sont fortes aux niveaux des bureaux 1 et 2 comparativement aux bureaux (5), (6) et (7). On remarque d'après le Graphe V.31, que les valeurs de la température intérieure au niveau des bureaux 1 et 2 sont plus hautes par rapport aux températures des autres bureaux (5, 6, 7), cela est interprété par la conclusion trouvée d'après les résultats du facteur f .

¹⁹ L'apport par rayonnement de la façade Sud, source : Schittich, et al. 2012, p124.

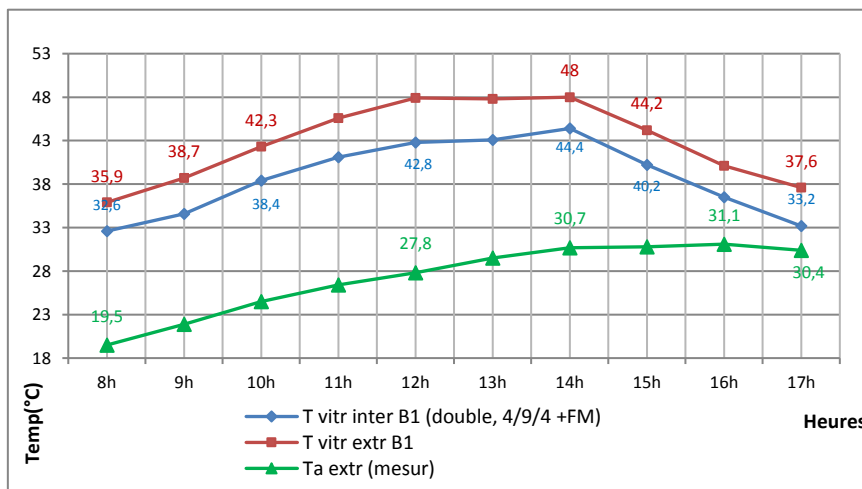
²⁰ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Sud-ouest** en journée du mois d'octobre, Ibid., p243.

²¹ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Est et Ouest** en journée du mois d'octobre, Ibid., p244.

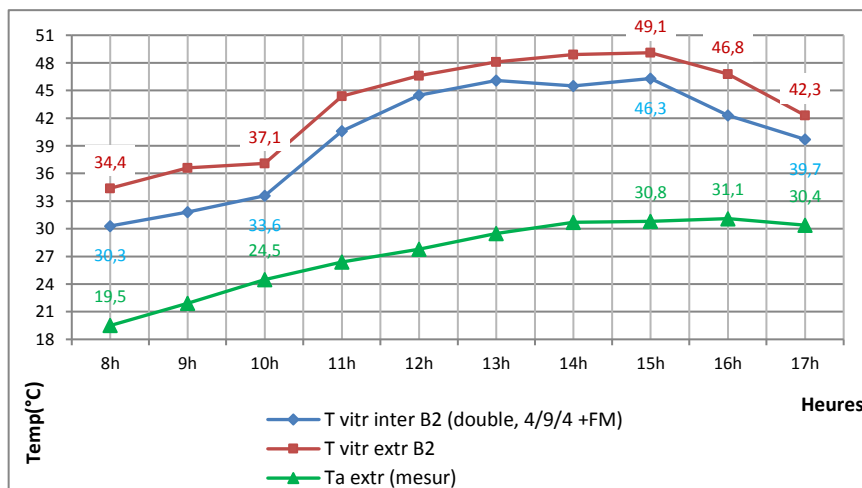
V.7.2.3 Le type de vitrage et la transmission thermique :

V.7.2.3.1 Espaces de bureaux (1) et (2) :

Dans ces deux bureaux (1) et (2) la différence entre la température surfacique intérieure et extérieure du vitrage n'est pas très distincte, en effet, pour le bureau 1, un écart moyen entre les deux surfaces de la vitre égale 4,12 °C (Graphe V.32), et un écart moyen de 3.35°C entre les deux surfaces dans le bureau 2 (Graphe V.33). Malgré le type de vitrage utilisé ici est double dont le coefficient de transmission U égale 3,3 w/m²k, les transmissions thermiques par rayonnement extérieur et par conduction à travers les couches de verre sont importantes. Cela s'explique par la faible résistance thermique de l'ensemble des couches de verre ($R=0.30 \text{ m}^2.k/w$)²², ce qu'augmente le pouvoir conductif, et par l'absence d'une couche extérieure à basse émissivité qui peut réduire les transmissions par rayonnement extérieur.



Graphe V.32: courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Batiment DTP).



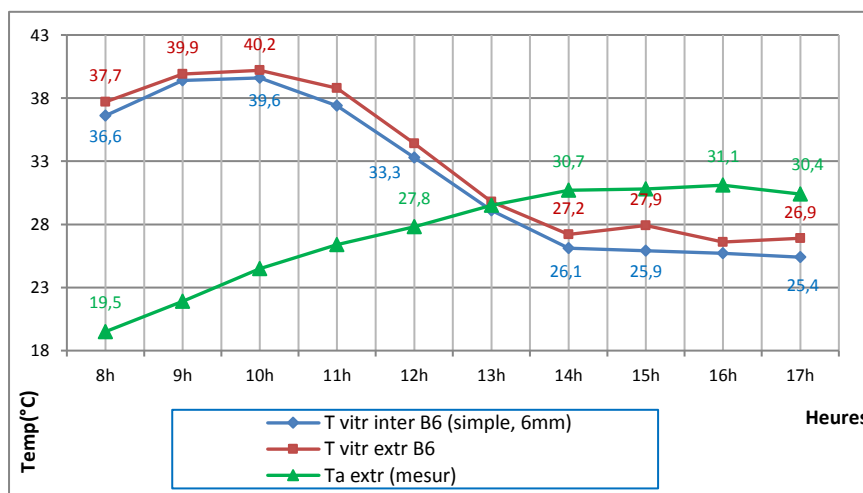
Graphe V.33 : courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Bâtiment DTP).

²² $R = 1 / 3.3 = 0.303 \text{ m}^2.k/w$

V.7.2.3.2 Espace de bureaux (5), (6) et (7) :

On remarque d'après les trois graphes en ci-dessous (Graphe V.34, Graphe V.35, Graphe V.36) que les profils de température surfaciques de verre pour les trois espaces de bureaux (5, 6, 7) sont plus proches, l'écart entre la température surfacique intérieure et celle extérieure n'est pas remarquable. En effet, les fluctuations entre les deux températures, ne dépassent pas le 1°C pour les trois cas, durant toutes les heures de la journée (de 8h à 17h). En comparant cette valeur d'écart 1°C, par rapport aux deux cas précédents (Bureau 1 et Bureau 2), où l'écart a été dépassé le 4,5 °C, on la trouve qu'elle est petite, c'est-à-dire que ces parois vitrées transmettent la majorité de la chaleur venue de l'extérieur. Le type de verre utilisé dans ces trois cas, a un rôle important de cette haute transmission, en effet, le vitrage utilisé pour les baies de ces bureaux, est de type simple de 6mm, dont le coefficient $U = 5,1 \text{ w/m}^2\text{k}$, et une résistance thermique $R = 0,175 \text{ m}^2\text{k/w}$. en plus, aucune couche réfléchissante ou à basse émissivité a été utilisée au niveau des surfaces vitrées, afin d'améliorer les taux de transmission par rayonnement extérieur.

On note que pour le cas de bureau 6, les températures surfaciques du vitrage restent supérieures de la température de l'air extérieure (mesurée), durant la période entre 8h et 13h, tandis que, pour le bureau 5, la température de l'extérieur est restée basse, par rapport aux températures surfaciques de verre, de 8h jusqu'à 15h. Cela s'explique par, la différence entre les moments d'ensoleillement, le bureau 6 orienté Est reçoit une quantité d'énergie solaire durant la période matinale de l'ordre de $(2033 \text{ wh/m}^2)^{23}$. À l'après midi, les radiations solaires viennent pour frapper la paroi vitrée orientée Sud s-ouest du bureau 5 avec un angle d'incidence plus bas, et à une quantité d'énergie de $(2044 \text{ Wh/m}^2)^{24}$.



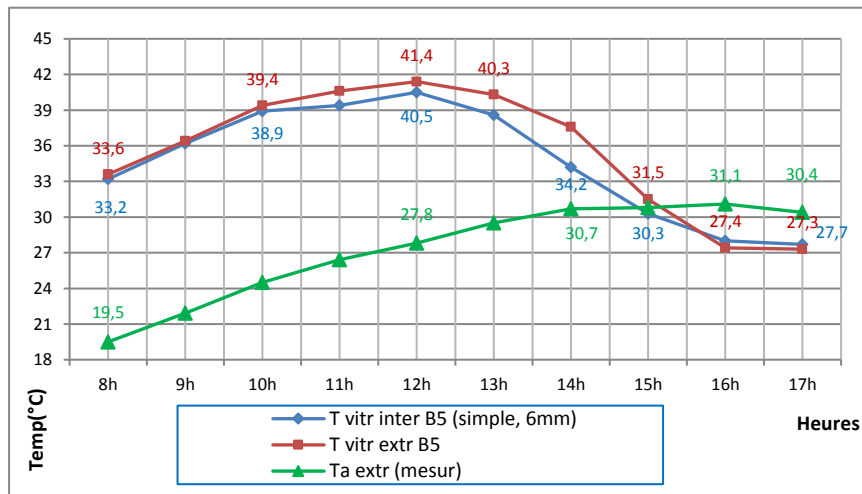
Graphe V.34 : courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau06 (Bâtiment DTP).

Pour le cas du bureau 7, les températures surfaciques de la paroi vitrée, commencent à atteindre des valeurs supérieures que les valeurs de la température de l'air extérieure, à partir de 14h30 (Graphe V.36). Dans ce moment (à partir de 14h30), la température surfacique intérieure de la baie vitrée, atteint la valeur de 39,5°C, après qu'elle était 28°C à 14h (Graphe V.36). Cette forte augmentation de température (11,5°C soit 3,83°C/h) durant les trois heures (de 14h à 17h), s'est accompagnée en même temps avec une hausse du taux de transmission. Elle s'est expliquée par

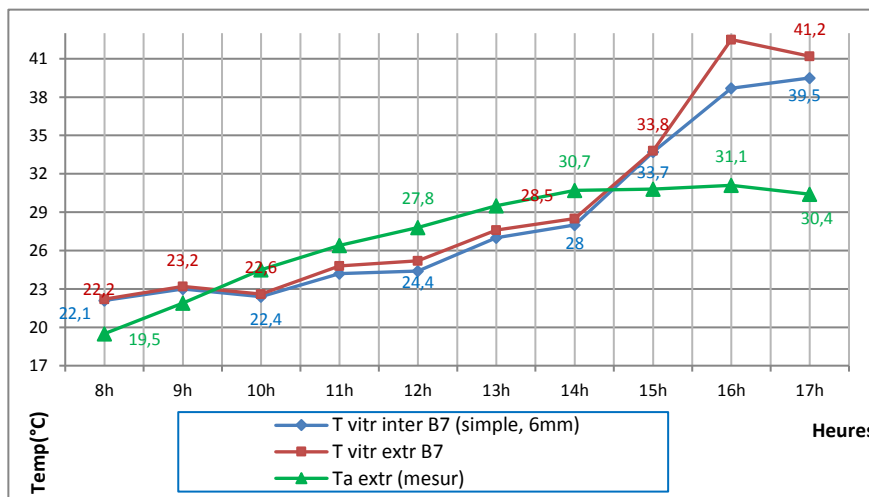
²³ Energie globale incidente sur le plan vertical **Est**, entre 8h et 13h, en journée du mois d'octobre, Ibid., p244.

²⁴ Energie globale incidente sur le plan vertical **Sud-ouest**, entre 12h et 15h, en journée du mois d'octobre, Ibid., p243.

l'effet des radiations solaires intenses, qui tombent sur cette paroi orientée à l'Ouest, suivant un angle d'incidence plus petite ($<60^\circ$).



Graphe V.35 : courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau05 (Bâtiment DTP).



Graphe V.36 : courbes comparant les températures de la surface intérieure et extérieure du vitrage, Bureau07 (Bâtiment DTP).

V.7.2.4 La surface vitrée et la température moyenne radiante (T_r) :

Le Graphe V.37 montre que, les espaces de bureau 1 et 2 ont des valeurs de température moyenne radiante semblables, la légère différence qui peut remarquer est pendant la période de 13H à 16h, elle est d'ordre de $0,33^\circ\text{C}$. Cela est dû que les deux espaces possèdent la même surface vitrée ($9,16\text{m}^2$, 69) qui sont orientées entre le point intermédiaire Sud Sud-est ($157,5^\circ$) et le point cardinal Sud (180°), donc elles reçoivent les mêmes intensités de rayonnement solaire.

Un autre sens de proximité de température radiante qui peut distinguer, est au niveau des espaces de bureau 5 et 6, durant les quatre heures (de 8h à 12h) de la matinée. A l'Après-midi, la température moyenne radiante au sein de bureau 6 connaît un abaissement d'ordre de 2°C ($0,43^\circ\text{C/h}$) ce que fait un écart moyen de 2°C avec la température radiante du bureau 5. Ces deux espaces de bureau ont la même surface d'ouverture vitrée ($1,70\text{m}^2$, 17%), mais dans des

orientations différentes (bureau 5 est orienté **Sud S-ouest**, bureau 6 est orienté **Est**). En effet, au moment de l'après-midi, les radiations solaires quittent la façade **Est**, par la suite la part radiative du vitrage et paroi opaque de cette façade vas réduit, ce qui explique en conséquent, l'abaissement dans la valeur de température radiante.

Concernant l'espace de bureau 7, sa température moyenne radiante pendant la journée connait une légère augmentation $2,49^{\circ}\text{C}$ ($0,32^{\circ}\text{C/h}$), et elle prend des valeurs un peu plus hautes que celles de bureau 6 à partir de 15h, s'expliqué par l'effet des rayons solaires qui commence dans ce moment, à frapper la façade de ce bureau orienté à l'Ouest.

Comparativement, les valeurs de l'évolution de la température moyenne radiante des bureaux (1) et (2) sont les plus élevées par apport aux espaces, un écart moyen de $5,20^{\circ}\text{C}$ avec la **Tr** du bureau (5), $6,12^{\circ}\text{C}$ avec la **Tr** du bureau (6) et $7,12^{\circ}\text{C}$ avec le **Tr** du bureau (7). En effet, la **Tr** des bureaux 1 et 2 atteint une valeur max de $34,01^{\circ}\text{C}$, tandis que la valeur max de la **Tr** des autres bureaux (5, 6 et 7) ne dépasse pas le $27,24^{\circ}\text{C}$. Cette élévation de la valeur de **Tr** des espaces de bureaux 1 et 2, s'expliqué par leurs baies dont la surface vitrée exposée au rayonnement solaire, qui est grande ($9,16\text{m}^2$) par apport aux autre bureaux ($1,70\text{m}^2$). Les déperditions surfaciques par rayonnement direct et secondaire ainsi augmentent. Le calcul de la valeur de coefficient d'apportations **S** pour chaque bureau donne les résultats suivants :

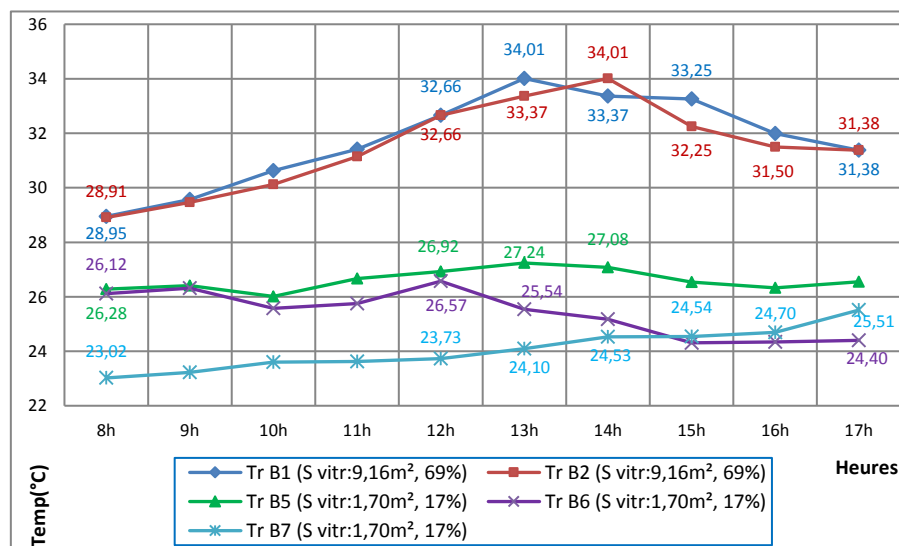
$$S(B1) = 27,38 \quad S(B2) = 37,94, \quad S(B5)=D(6)=D(7) = 6.80.$$

D'après ces résultats, les deux bureaux 1 et 2 ont de valeur S les plus grandes, donc un pourcentage de rayonnement solaire atteint l'espace intérieur plus grand.

Pour les valeurs du coefficient de déperdition surfacique (**D**), pour chaque bureau sont :

$$D(B1) = D(B2) = 27,48 \text{ w/k}, \quad D(B5) = D(B6) = D(B7) = 8,67 \text{ w/k}.$$

On observe que, la valeur D des trois bureaux (5), (6) et (7) est plus faible, donc les déperditions surfaciques à travers ces surfaces sont basses et par suite, un bilan de température radiante réduit.

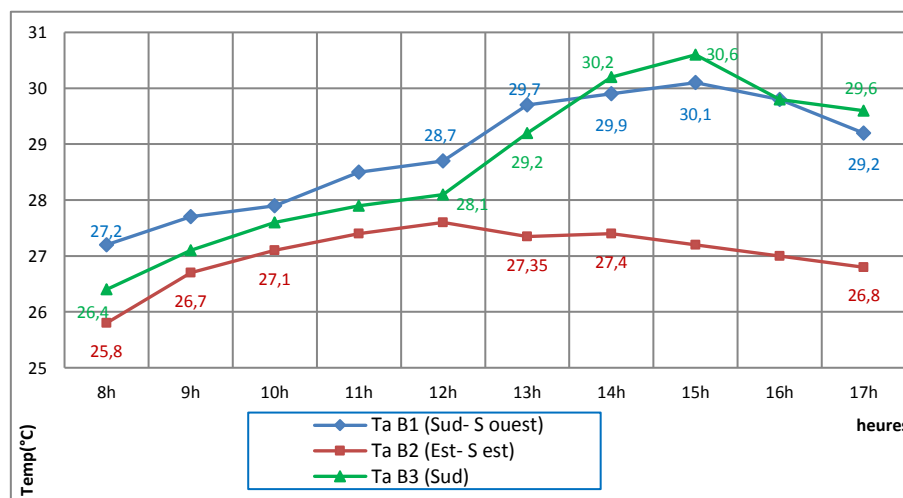


Graph V.37: courbes de température moyenne radiante dans les bureaux (B1, B2, B5, B6 et B7). (Bâtiment DTP).

V.7.3. Bâtiment DUAC : période de mi- saison (octobre)

V.7.3.1 L'orientation de la baie et la température de l'air intérieur (Ta) :

Le Graphe V.38 en ci-dessous, montre que les profils de température de l'air des espaces de bureaux 1 et 3 présentent le même sens de variation durant la journée, et les fluctuations entre les valeurs des deux températures ne sont pas très différents (écart moyen journalier est 0,46 °C). En outre, leurs valeurs de **Ta** connaissent une augmentation peu remarquable (2,2°C) entre 12h et 15h. Cela peut justifier, est que, les façades des deux bureaux (B1 orienté Sud S-ouest, B3 orienté Sud) se donnent presque à partir de la même direction, entre les deux points cardinaux qui se suivent, Sud (180°) et Sud S-ouest (202,5°), donc leurs baies vitrées reçoivent des radiations solaires dont la même quantité et la même puissance durant la journée (5042 Wh/m²)²⁵. Pour l'espace de bureau 2, il présente des valeurs de température de l'air intérieure un peu plus basses que celles des bureaux (1) et (3), une différence entre la **Ta** du bureau 3 et la **Ta** du bureau 2 est 1,70°C. La baie vitrée de ce bureau est orientée à Est- S est, elle reçoit une quantité d'énergie de l'ordre de (3156 Wh/m²)²⁶, où elle soit forte (2451 Wh/m²)²⁷ principalement dans la période matinale (8h à 11h). Cette valeur d'énergie incidente sur la paroi vitrée de ce bureau est moins petite que celle frapper les parois vitrées des bureaux 1 et 3, en conséquent un pourcentage de transmissions thermique à travers cette baie moins basse, ce qu'explique par la suite, des valeurs de **Ta** relativement plus basses par rapport aux celles des bureaux 1 et 3.



Graphe V.38: courbes de température de l'air ambiant des espaces de bureaux dont les baies orientées SSO, ESE et S. (Bâtiment DUAC).

V.7.3.2 Le système de protection et la température de l'air intérieur :

Dans les espaces de bureau 1 et 2, le système de protections des baies utilisés et des stores à lame horizontal clair en aluminium, le pourcentage de g_{tot} ainsi est 48%, ce que donne une valeur du facteur minorant f égale à 0,71 ($g_{tot}/g_{vitr} = 48/67$). Pour l'espace de bureau 3, les baies vitrées possède un système de protection de type store à lame vertical, la valeur du facteur

²⁵ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Sud** en journée du mois d'octobre, Ibid., p242.

²⁶ Total d'Énergie globale incidente sur le plan vertical **Est** en journée du mois d'octobre, Ibid., p244.

²⁷ Énergie globale incidente sur le plan vertical **Est**, entre 8h et 11h, en journée du mois d'octobre, Ibid., p244.

solaire g_{tot} pour la baie et protection en association est 51%, la valeur du facteur minorant f pour ce système ainsi égale 0,76.

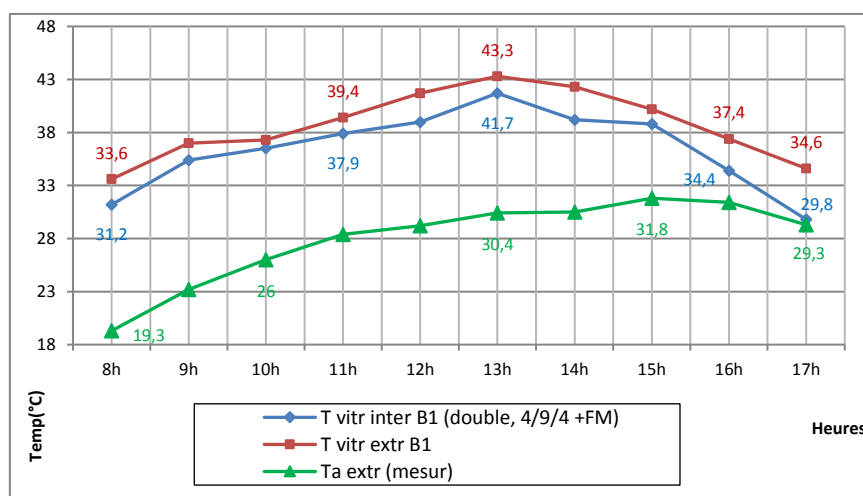
Malgré que, le bureau 1 possède un système de protection qui limite mieux ($f=0,71$) le rayonnement solaire d'atteindre l'espace intérieure que l'espace de bureaux 3 ($f=0,76$), on remarque d'après le Graphe V.38 que les valeurs de sa température de l'air sont similaires aux celles de bureau 3. Pratiquement, ces valeurs soient plus proches que la T_a de bureau 2, puisqu'ils ont le même facteur minorant ($f=0,76$), cela s'explique par l'effet d'orientation, le bureau 1 est orienté dans le même champ de direction du bureau 3 (Sud), tandis que le bureau 2 est orienté à Est sud-est, donc il reçoit des quantités d'énergie solaires moins élevées durant la journée.

V.7.3.3 Le type du vitrage et la transmission thermique :

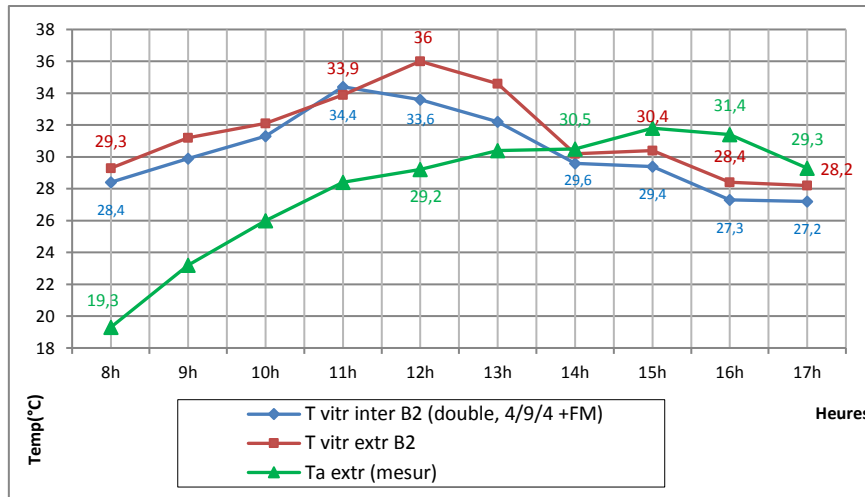
V.7.3.3.1 Espaces de bureau (1), (2) et (3) :

Dans les trois espaces de bureaux (B1, B2, B3), à première vue, on remarque à partir des Graphe V.39, Graphe V.40 et Graphe V.41 que, la température surfacique du vitrage suit l'évolution de la température surfacique extérieure durant la journée avec une marge de $2,29^\circ\text{C}$ pour le bureau 1, $1,41^\circ\text{C}$ pour le bureau 2 et $1,63^\circ\text{C}$ pour le bureau 3. Ces valeurs d'écartement entre les deux températures surfaciques, ne sont pas très importantes pour un bon affaiblissement des transmissions de la chaleur extérieure, autrement dit, les transferts via par rayonnement extérieur puis par conduction travers les couche de verre sont importants. En effet, le type de vitrage utilisée pour les baies de trois espaces de bureau est double, son coefficient $U_g = 3,3 \text{ w/m}^2\text{k}$, sa résistance thermique $R = 0,303 \text{ m}^2\text{k/w}$, alors, ces caractéristiques expliquent rapprochement de la température surfaciques intérieures et extérieures. De plus, l'absence d'une couche de faible émissivité sur la surface extérieure.

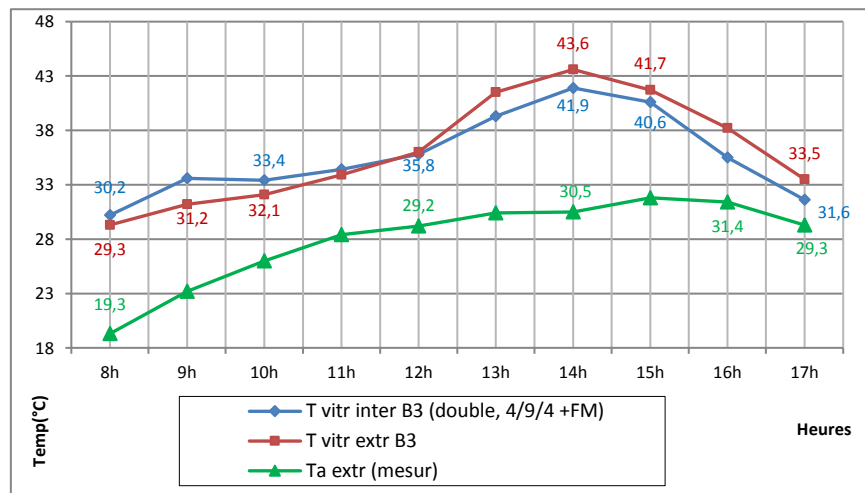
En deuxième vue, au niveau d'espace de bureau 2, on registre une diminution des températures surfaciques de verre à partir de 14h, en dessous de la température de l'air extérieure mesurée (Graphe V.41). Cela s'est expliqué par l'absence total des radiations solaires direct sur cette façade (Est) dans ce moment (14h à 17h).



Graphe V.39: courbes comparant les températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau01 (Bâtiment DUAC).



Graph V.40 : courbes comparant les températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau02 (Bâtiment DUAC).



Graph V.41 : courbes comparant les températures surfaciques intérieure et extérieure du vitrage, Bureau03 (Bâtiment DUAC).

V.7.3.4 La surface vitrée et la température moyenne radiante (Tr) :

Tout d’abord, on constate d’après le Graph V.42 que, la température radiante à l’intérieure de l’espace de bureau 3 atteint des valeurs les plus élevées, une marge de différence moyenne de 1,24°C° avec la **Tr** de l’espace de bureau 1, et 2,10°C avec la **Tr** de l’espace de bureau 2. Cette augmentation dans les valeurs de **Tr** du bureau 3 par apport aux deux bureaux (1 et2), revient à la différence des surfaces des baies vitrées des espaces, en effet le bureau 3 possède une surface vitrée de 20,22 m², tandis que pour les autres espaces, on y trouve des baies vitrées de 6,30 m² pour le bureau 1 et 6,11m² pour le bureau 2. Alors pour cette raison, la part de rayonnement surfacique de la chaleur transmis par la surface vitrée au niveau du bureau 3 augmente, par suite, le bilan radiatif accroître. De même, l’apport thermique du au vitrage augmente, qui élève en conséquent la température de l’air et des parois intérieures. Le calcul de la valeur de coefficient d’apportions **S** pour les trois bureaux donne les résultats suivants :

$$S (B1) = 17,78 \quad , \quad S(B2) = 20,94, \quad S (B3) = 32,22.$$

On remarque que la valeur **S** du bureau 3 est la plus grande, donc une partie de chaleur transmis à l’intérieur plus grande.

Pour le résultat du calcul des valeurs de coefficient D, il est dans l'ordre suivant :

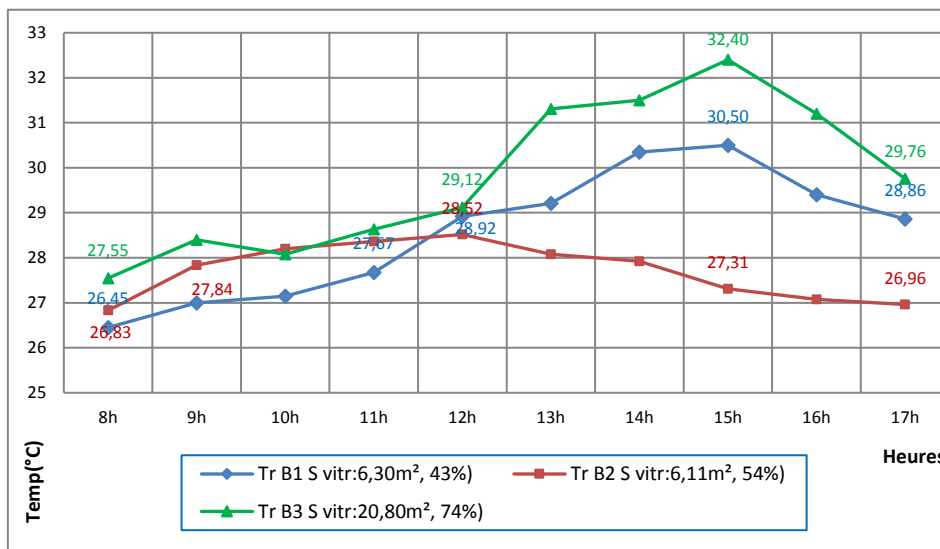
$$D(B2) = 18,33 \text{ w/k}, D(B1) = 18,90 \text{ w/k}, D(B3) = 62,40 \text{ w/k}$$

Ce résultat montre bien que, l'espace de bureau 3 a une valeur (D) la plus grande donc, un pourcentage de rayonnement thermique direct et secondaire plus grande.

On note dans un deuxième stade que, les deux bureaux 1 et 2 ont presque une surface de baie vitrée de la même grandeur (6,30 m² (43%) pour B1, 6,11m²(54%), pour B2), donc pratiquement ils ont des valeurs de **Tr** plus proches. Cette conclusion est montrée clairement suivant les résultats trouvés du coefficient **D** :

$$D(B2) = 18,33 \text{ w/k}, D(B1) = 18,90 \text{ w/k}.$$

Or, d'après le Graphe V.42, on remarque que, les valeurs de température radiante se diffèrent de manière remarquable à partir du 12h. En effet, le profil de la **Tr** du bureau 1 augmente, pour faire un écart avec la **Tr** du bureau 2 de 3,20°C à 15h. Cela peut s'expliquer par l'effet de l'orientation de chaque baie vitrée, ainsi, le temps et l'intensité des radiations solaires directes (apports thermiques) sur chaque façade se diffèrent, par conséquent, les transmissions à travers la vitres se changent (B1 donne sur la direction Sud, B2 donne sur la direction Est, voir section V.7.3.1 en dessus).



Graphe V.42 : courbes de température moyenne radiante dans les bureaux (B1, B2, B3). (Bâtiment DUAC).

V.8 NIVEAU III : Analyse croisée, évaluation de l'état thermique par les indices thermiques :

L'objectif de cette étape est de définir les **indices d'évaluation** de l'ambiance thermique dans chaque bureau. En effet, ces indices nous permettront de **caractériser** l'impression thermique de l'occupant au sein dans son espace de bureau. Pour cela, on opte à déterminer trois indices, que sont : la température **opérative** (résultante), le **PMV** et le **PPD** (pour plus de détails sur ces indices voir section 6 du chapitre I). Par définition, un indice thermique est le résultat de la combinaison des paramètres du microclimat intérieur (la température de l'air ambiant, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température moyenne radiante.) et des paramètres qui sont liés à l'individu (activité et habillement). Les deux facteurs affectent le corps de l'utilisateur de manière simultanée.



V.8.1.Évaluation de l'état thermique de l'utilisateur par les indices PMV, PPD et Top :

On caractérise le confort thermique dans les bureaux dans les trois bâtiments (Tourisme, DUC et DUAC), à travers deux niveaux d'analyse :

- ⇒ **Le premier** est d'ordre *qualitatif*, voir les valeurs de la **température opérative atteinte** dans l'espace bureau pendant une journée de travail et on les compare avec la limite de la température opérative recommandée pour un confort **d'été**. Pour l'hiver, la même procédure est adoptée, on compare les valeurs de la **température opérative atteinte** dans les bureaux durant les heures de travail avec la plage qui est recommandé pour un confort **d'hiver**. Pour les indices PMV et PPD, la sensation thermique est évaluée en interprétant sur une échelle de sept niveaux (ASHRAE), l'évolution des valeurs de **PMV** calculées pendant les heures du travail. Par conséquent, les valeurs de **PPD** correspondent aux celles de PMV pendant la même journée, indique le pourcentage de personnes insatisfaits thermiquement.
- ⇒ **Le deuxième niveau** est d'ordre *quantitatif* qui s'agit de la détermination de la **durée** en heures, pendant laquelle la valeur de Top dépasse la température de confort (été), et la durée où elle y est dessous (hiver). Quant aux indices PMV et PPD, on calcule le nombre d'heures durant une la journée dans lesquels un état de sensation thermique **inconfortable** est apparu, c'est-à-dire les moments où les valeurs de PMV sont supérieures au seuil de confort respectif au période de mesure.

V.8.2.Période de mi- saison :

Pour l'ensemble de calcul des indices thermiques dans cette période de mi- saison (automne), on a fixé les paramètres liés à l'individu comme ce suit :

Activité sédentaire de bureau 	Chaleur dégagée en (Met) 1,2
Tenue d'été 	Isolement thermique en (clo) 0,5

Et pour le paramètre lié à l'environnement qui est vitesse de l'air intérieure, on prend la valeur de : **0,15 m/s** pour l'ensemble de cas étudiés.

V.8.2.1 BATIMENT Tourisme :

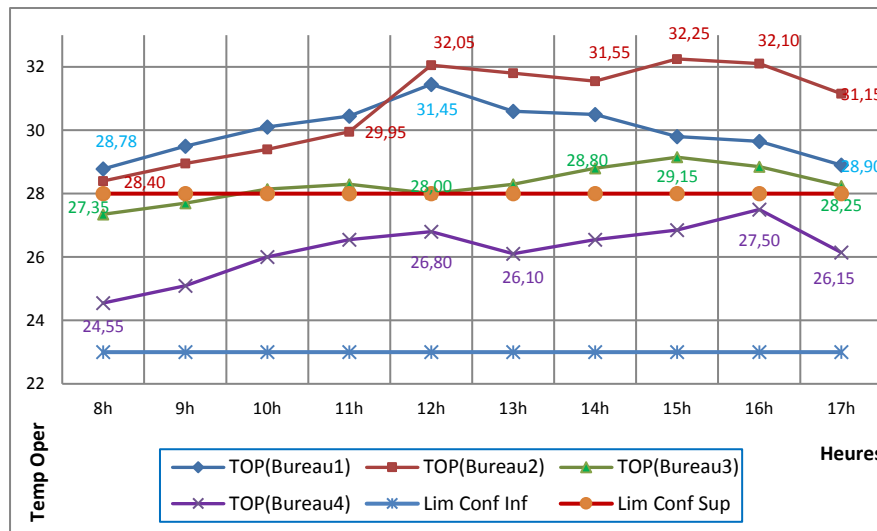
En raison des quatre variables de la baie vitrée étudiées pour chaque bureau, que ne nous pouvons pas les mettre à la fois dans les graphiques, on opte à les réécrire dans chaque cas d'étude, comme il est indiqué dans le Tableau V.6 en ci-dessous, et on admet ainsi, de mentionner seulement le numéro de chaque espace dans les graphes.

Espace de bureau	Paramètres de la baie vitrée				occupation
	Orientation	Surface	Type de verre	Protection	
Bureau 01	Sud -est	8,46m ² (71%)	Double 4/9/4	Sans	2 Pers
Bureau 02	Sud -est	13,22m ² (70%)	Double 4/9/4	Sans	3 Pers
Bureau 03	Sud -Ouest	2,63m ² (30%)	Simple 6mm	Sans	2Pers
Bureau 04	Nord -est	2,63m ² (30%)	Simple 6mm	Sans	2 Pers

Tableau V.6: Aspects Typologiques des baies des espaces où prise les mesures d'Automne(Tourisme).

V.8.2.1.1 La température Opérative et la zone de confort :

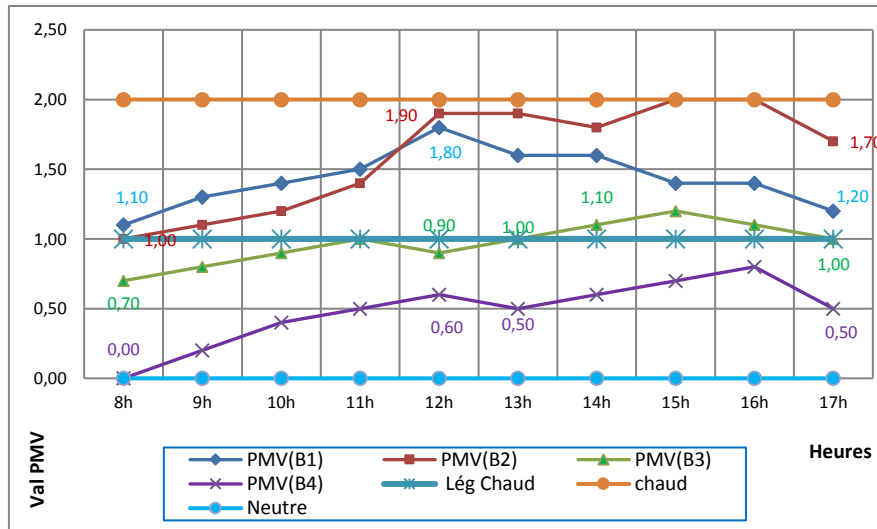
Tout d'abord, dans ce premier niveau, qui s'agit de la comparaison de la température opérative dans chaque espace, avec les limites de confort (ces limites sont déjà déterminées dans la section V.1), nous constatons que l'espace de bureau 4 est le plus confortable durant tous les heures du travail. Et que les espaces de bureaux 1 et 2 sont les plus inconfortables, en effet les courbes de leurs valeurs de **Top**, restent en dehors de la limite supérieure de confort pendant toute la journée (de 8 à 17h). elles font un écart maximal avec le seuil supérieur de confort, de 3,45°C à 12h pour le bureau 1 et 4,25°C pour le bureau 2. De même, la température opérative moyenne de ces deux bureaux, durant la journée est 29,97°C pour l'espace de bureau 1, ce que fait un écart moyen de 2°C avec le seuil, et 30,76 °C pour l'espace de bureau 2, soit ainsi un écart moyen de 2,70°C. pour l'espace de bureau 3, la courbe de ses valeurs de **Top**, est presque avec la limite de confort supérieur, seulement elle marque une augmentation peu remarquable entre 14h et 16h, ce que fait un écart max de 1,15°C à 15h, avec le seuil. Par conséquent, et en tous état de cause, on admet que cet espace est confortable (Graphe V.43).



Graph V.43: Courbes de température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux (mi-saison) et la limite de confort (Bâtiment Tourisme).

V.8.2.1.2 L'indice PMV dans les espaces de bureaux et le confort de l'utilisateur :

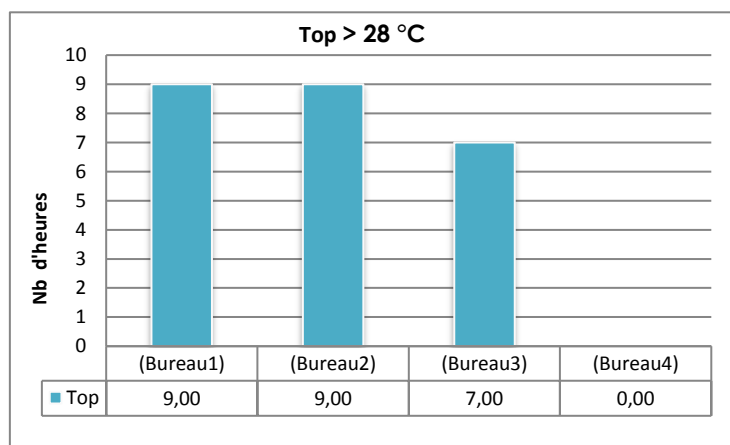
En suite d'analyse, qui consiste à caractériser l'état de sensation thermique à travers les valeurs PMV dans chaque bureau, on remarque d'après le Graph V.44 que, les variations de la courbe de PMV dans le bureau 3 et la majorité (de 8h à 13h) des valeurs de PMV de bureau 4, se comprennent entre le niveau 0 et +1, ce qui correspond à la sensation neutre et légèrement chaud. La valeur moyenne de PMV durant la journée dans ces bureaux ne dépasse pas 1, elle est 0,97, soit un pourcentage de personnes insatisfaites PPD égale à 25,25% pour le bureau 3, et 0,48 pour le bureau 4, qui soit un PPD égale à 10,85%. Alors, on conclut que ces deux espaces sont confortables pendant cette période (automne) durant le temps de travail. Puis, et pour les deux bureaux 1 et 2, la variation de leurs valeurs de PMV se localise entre les degrés de sensation légèrement chaude (+1) et chaude (+2), une valeur max de PMV égale +1,90 est atteinte, à 12h dans le bureau 1, correspond un PPD égale 76,80%. Au niveau de bureau 2, une valeur max de PMV égale +2,00, est enregistrée entre 15 et 16, soit un PPD égale 67%. Durant la journée du travail (8h à 17h), les rangs moyens de PMV sont de l'ordre 1,43 pour le bureau 1 et 1,67 pour le bureau 2. En revenant au ce moment de mesure (octobre), on le trouve qu'il est une période de confort d'après l'analyse climatique de la ville de Béchar (voir section 1.1.6 du chapitre III), et aussi suivant le diagramme bioclimatique de Givoni faite sur la ville de Béchar (section 1.1.4 du chapitre III). Par ailleurs, ces valeurs de PMV enregistrées au niveau de ces deux espaces sont grandes, et présentent un état de stress thermique (chaud) pour l'utilisateur. On conclut alors que, le climat thermique à l'intérieur de ces deux bureaux est inconfortable.



Graphe V.44 : courbe montrant la variation des valeurs de PMV (mi- saison) dans les espaces de bureaux (Bâtiment Tourisme).

V.8.2.1.3 La Top et la durée du confort thermique dans les bureaux :

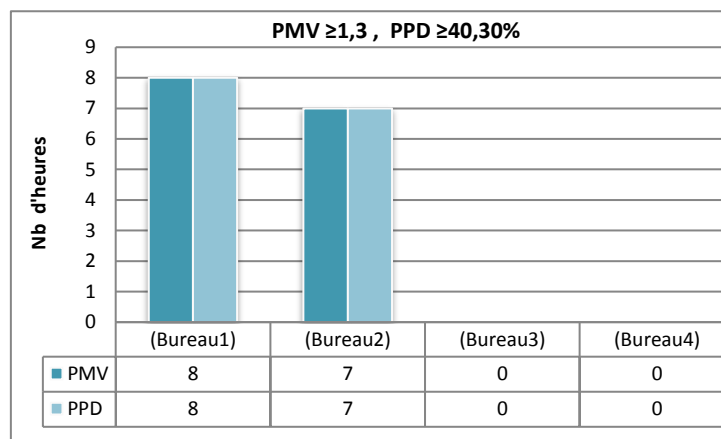
En deuxième niveau d’analyse, pour caractériser le confort dans l’espace intérieure, on a compté la durée dans laquelle on dépasse la température de confort. Le Graphe V.45, montre le nombre d’heures pendant lesquels le Top est supérieur à la limite de température de confort. On constate que, les deux bureaux (1) et (2) présentent un climat thermique **inconfortable** durant toute la journée (8h à 17h), un temps de « 9 heures », soit toutes les heures du travail, la valeur de Top est supérieure à 28°C. Ensuite, dans l’espace de bureau 3, le nombre d’heures dans lesquels, une sensation d’inconfort thermique est apparue, égale « 7 heures », seulement une période de « 2 heures » dans la journée, où les conditions thermiques intérieures sont **confortables**. Dans le cas du bureau 4, on trouve que le climat thermique intérieure est **confortable** durant toute la journée (de 8h à 17h), aucun moment (0 heure) a été enregistré où la Top est supérieure à la limite de confort.



Graphe V.45: histogrammes montrent le nombre d'heures pendant lesquels l'indice Top est supérieure à la limite de confort (mi-saison) dans les bureaux (Batiment Tourisme).

V.8.2.1.4 L'indice PMV et la durée d'apparition d'une sensation inconfortable.

Dans cette section, on admet que, l'apparition d'une sensation inconfortable (chaude) au sein des espaces est apparue, à partir d'une valeur de vote moyen prévisible PMV, égale à 1,3 (puisque c'est le moment d'automne), ce qui équivalent à un pourcentage de personnes insatisfaites PPD de l'environnement thermique intérieur, plus ou égale à 40,30% et une Top égale 29,50°C. Nous constatons d'après le graphique (Graphe V.46), que dans les deux espaces de bureau (1) et (2), un nombre d'heures important a été marqué dans la journée, où la sensation thermique chaude est apparue. En effet, dans le bureau 1, pendant « 7 heures » du temps (du 9h à 16h), le climat intérieur est voté chaude, équivalent à une période de « 7 heures » où les personnes insatisfaites PPD est supérieure 50%. Pour l'espace de bureau 2, durant « 7 heures » de 11h à 17h, le vote moyen PMV indique une sensation chaude (inconfortable) à l'intérieur, correspond à un pourcentage d'insatisfaites PPD plus de 40,30% pendant la même période. Dans les espaces bureau 3 et bureau 4, durant toute la journée la valeur de PMV est inférieure à 1,3, par conséquent, le pourcentage d'insatisfaction des personnes de ces conditions thermiques n'atteint pas le 40,30%. On conclut que, la sensation thermique ici (bureau 3 et 4) est situé entre confortable et légèrement confortable.



Graphe V.46 : histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison), Bâtiment Tourisme.

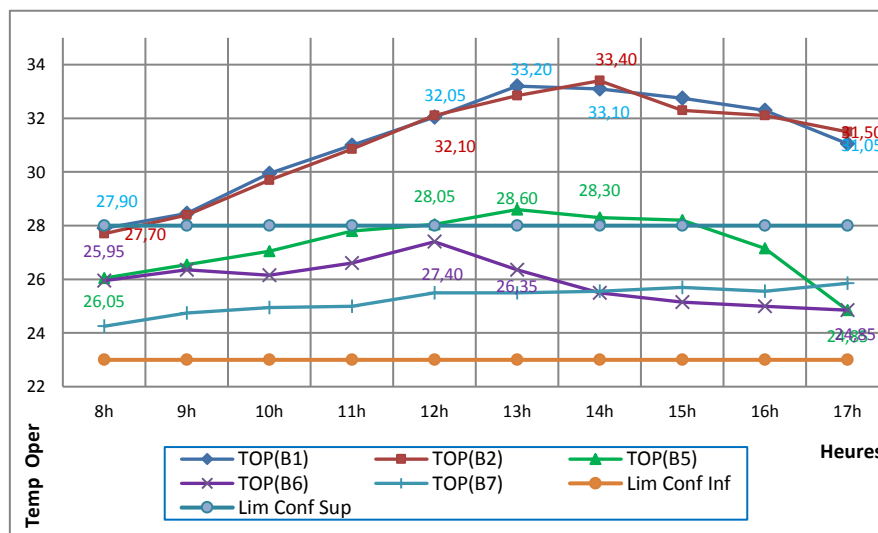
V.8.2.2 BATIMENT DTP :

Espace de bureau	Paramètres de la baie vitrée				occupation
	Orientation	Surface	Type de verre	Protection	
Bureau 01	Sud -S-est	9,16m ² (69%)	Double 4/9/4	Rid inter moye	2 Pers
Bureau 02	Sud				2Pers
Bureau 05	Sud S -Ouest	1,70m ² (17%)	Simple 6mm	Store à lame vertical inter clair	3Pers
Bureau 06	Est				2 Pers
Bureau 07	Ouest				2 Pers

Tableau V.7 : Aspects Typologiques des baies des espaces où prise les mesures d'Automne (DTP).

V.8.2.2.1 La température Opérative et la zone de confort :

Dans le cas du bâtiment DTP, on remarque d'après le Graphe V.47 que, la variation de la Top des espaces de bureau 1 et 2 durant toute la journée est en dehors de la zone de confort. En fait, leurs courbes de Top, faites un écart maximum de 5,20°C à 13h, avec la limite supérieure de confort dans le cas de bureau 1, outre que, l'écart max avec le seuil dans le bureau 2 est atteint le 5,40°C à 14h. d'ailleurs, la température résultante moyenne journalière (de 8 à 17h) a atteint une valeur de 31°C tant pour le bureau 1 que pour le bureau 2, partant de ce fait, le climat intérieur de ces deux espaces est **inconfortable**. Quant aux autres espaces (B5, B6 et B7), on constate que leurs courbes de Top se situent dans la zone de confort (23°C à 28°C), durant les heures de travail, sauf dans le cas du bureau 5, on note une petite augmentation de 0,6°C à 13h de la valeur de Top par apport à la limite supérieure. D'un autre part, les valeurs moyennes journalières de Top dans ces espaces, sont dans l'ordre suivant : 27,26°C pour le bureau 5, 25,93°C pour le bureau 6 et 25,26°C dans l'espace de bureau 7, elles sont donc tous dans la plage de confort. En somme, dans le bâtiment DTP, le climat thermique à l'intérieur des espaces de bureau (5), (6), et (7) est **confortable** pendant les heures de travail au moment de l'automne.

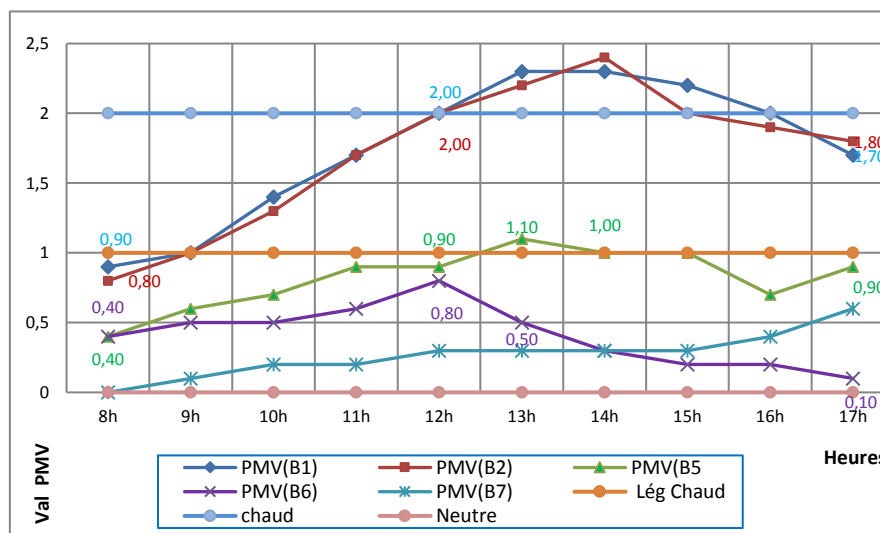


Graphe V.47 : Courbes de température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (mi-saison), Bâtiment DTP.

V.8.2.2.2 L'indice PMV dans les espaces de bureaux et le confort de l'utilisateur :

D'après le Graphe V.48, on remarque que les deux profils de PMV des bureaux 6 et 7 se varient entre les échelles 0 et +0,80 durant toute la journée. La valeur max de PMV qu'est atteinte dans l'espace de bureau 6 enregistrée à 15h est égale à +0,80, avec un PPD égale à 18,50%, tandis que, la valeur max de PMV enregistrée dans le bureau 7 est égale à 0,6 à la fin des heures du travail (17h). En outre, dans les deux espaces, la valeur moyenne de PMV pendant toute la journée ne dépasse pas la valeur +0,40 (proche de la sensation neutre ou confortable), avec un pourcentage de personnes insatisfaites qui ne dépasse pas le 9,30%. D'après ces résultats, on remarque que le pourcentage de personnes satisfaites dans ces deux environnements thermiques est important (90%), avec une sensation thermique proche au confort (+0,40), alors cela indique que le climat thermique intérieur dans ces espaces (B6 et B7) est **confortable** dans le moment d'automne en journée du travail. Dans l'espace de bureau 5, on remarque que la variation du

profil de PMV prend en majorité des valeurs entre 0,40 (proche au neutre) et 0,90 (légèrement chaud) de 8h à 17h, seulement entre 13h et 15h, le PMV atteint les valeurs +1,10 et +1 (Graphe V.48). Le calcul de la moyenne de PMV durant le temps du travail dans ce bureau, donne une valeur de 0,80, c'est-à-dire une sensation qui proche à légèrement chaude sur l'échelle ASHRAE, et un pourcentage de personne insatisfaits égale à 20%, soit 80% de personnes satisfaites, alors, on conclut à partir de ces constats que, le microclimat intérieur en générale dans cet espace(B5) est **confortable** pendant la période de mi- saison. Allons aux bureaux (1) et (2), on voit à partir du Graphe V.48, que leurs profils de PMV s'évaluent entre +1 (sensation légèrement chaude) et +2,4 (sensation chaude) pendant la période de 9h à 14h, puis entre +2,4 et 1,7(sensation proche au chaude) durant le temps de 14h à 17h. En moyenne journalière, on note que leurs PMV atteignent la valeur +1,70, correspondent à un PDD égale à 61%. D'après ces traits, on constate que le pourcentage de personnes d'insatisfaits dans ces environnements thermiques a dépassé la moitié, en plus avec une sensation thermique chaude (+1,70), on peut déduire alors qu'un état thermique **inconfortable** caractérise le climat intérieur des deux espaces (B1 et B2) dans le bâtiment DTP, pendant le moment de mi- saison.



Graphe V.48: courbe montrant la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (mi- saison), Bâtiment DTP.

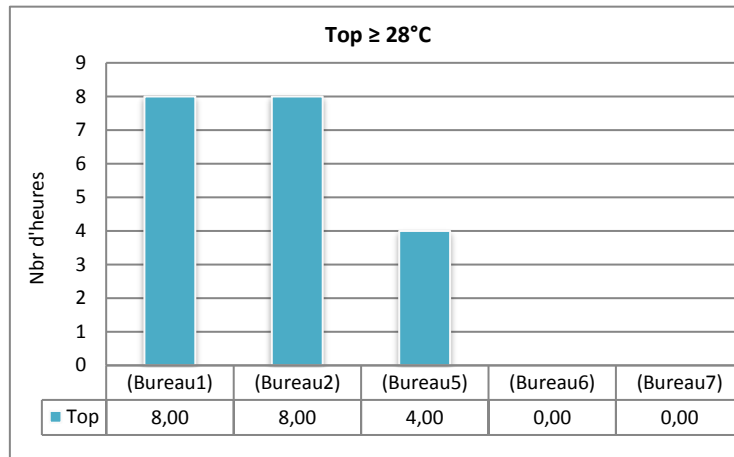
V.8.2.2.3 La Top et la durée du confort thermique dans les bureaux :

Dans le Graphe V.49 en dessous, on remarque que les deux espaces de bureau 1 et 2, n'offrent pas les conditions de confort thermique, durant toute la journée, 8 heures de temps, la température résultante reste supérieure à la limite de confort. Dans le bureau 5, une période de « 3 heures », soit le tiers de la durée du travail, la température résultante est dépassée la limite de confort, donc, ils restent « 5 heures » du temps, le climat intérieur est **confortable**. Pour les deux espaces (B6 et B7), aucun temps a été enregistré où la température opérative dépasse le seuil de confort (0 heures), cela indique que les conditions thermiques ici sont **confortables** au cours des heures de travail.

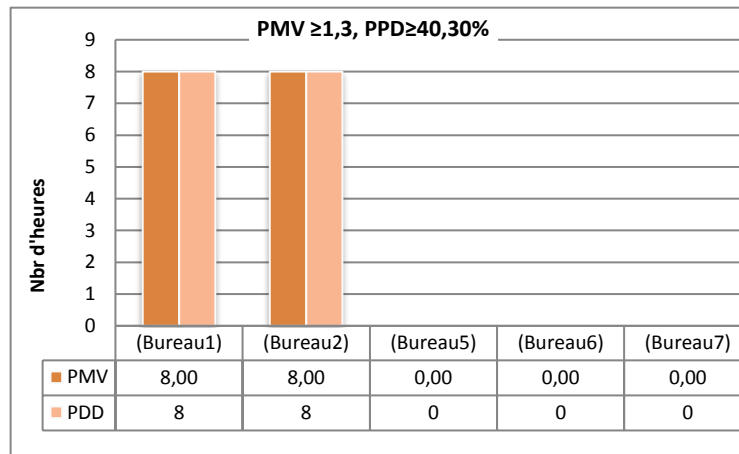
V.8.2.2.4 L'indice PMV et la durée d'apparition d'une sensation inconfortable.

On lit à partir du Graphe V.50 en dessous, que les espaces de bureau 1 et 2 sont les plus **inconfortables** thermiquement, pendant une durée de « 7 heures » dans la journée, l'indice

PMV a indiqué l'impression chaude, en fait, il a enregistré des valeurs plus de 1,3 sur l'échelle de la sensation thermique. Dans la même période, le pourcentage de personnes insatisfaites de cet état thermique intérieur, dépasse le 40,30%. Cela montre que, un temps de « 7 heures » dans une journée du travail de 9 heures, est un temps assez important dans lequel les conditions thermiques intérieures dans ces espaces sont **inconfortables**. Quant aux autres espaces (B5, B6 et B7), l'indice PMV n'enregistre aucune valeur supérieure à 1,3 sur l'échelle thermique, ainsi donc, l'état thermique ici est **confortable** durant les 9 heures, pendant lesquelles les occupants utilisent ces espaces.



Graphe V.49 : histogrammes montrent le nombre d'heures pendant lesquels l'indice Top est supérieur à la limite de confort dans les bureaux (mi- saison), Bâtiment DTP.



Graphe V.50: histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi- saison), Bâtiment DTP.

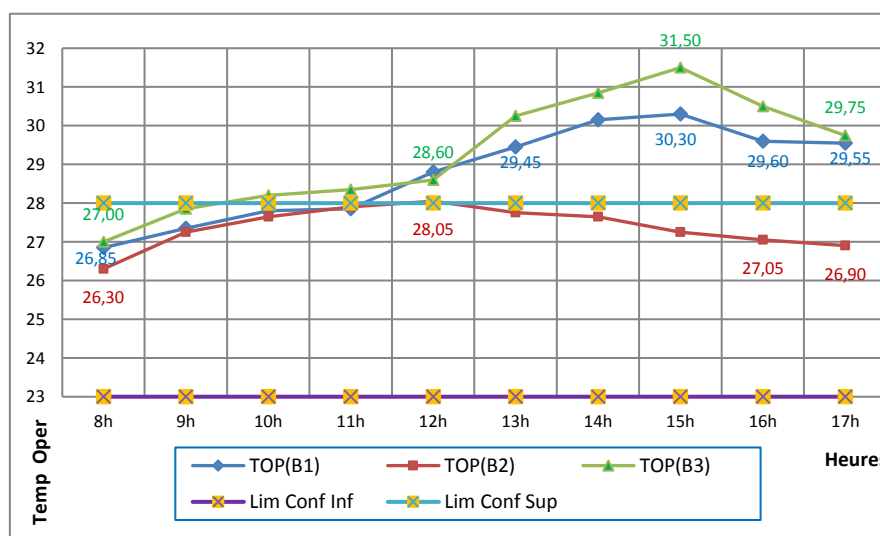
V.8.2.3 BATIMENT DUAC :

Espace de bureau	Paramètres de la baie vitrée				occupation
	Orientation	Surface	Type de verre	Protection	
Bureau 01	Sud –S ouest	6,30m ² (43%)	Double 4/9/4	Store à lame inter clair	2 Pers
Bureau 02	Est-Sud est	6,11m ² (54%)			2Pers
Bureau 03	Sud	20,80 m ² (74%)	Double 4/9/4	Store à lame vertical inter clair	4Pers

Tableau V.8 :Aspects Typologiques des baies des espaces où prise les mesures d'Automne (DUAC).

V.8.2.3.1 La température opérative et la zone de confort :

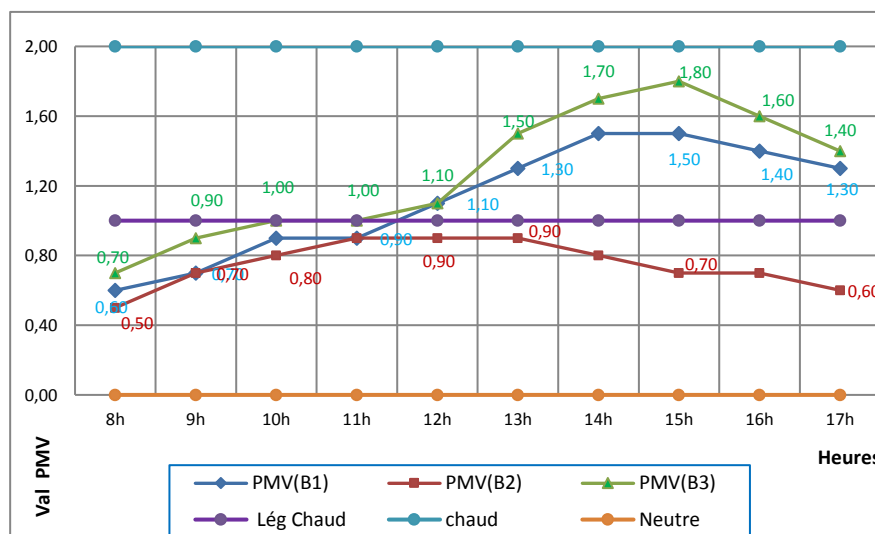
Dans le bâtiment DUAC, les mesures hygrothermiques sont faites au niveau de trois salles de bureau, la morphologie de leurs baies vitrées respective a été présentée dans le tableau au dessus. Après les calculs (combinaison de paramètres mesurés plus paramètres de l'individu) on a permis de tracer la variation de la température résultante dans chaque bureau dans la journée du mois d'octobre (jour 18) sur le Graphe V.51 en dessous. Tout d'abord, nous pouvons tirer à travers ce dernier, que le profil de Top du bureau 2 est se situe dans la zone de **confort** (23°C-28°C), durant les heures de la journée, sauf une petite augmentation de 0,5°C est marquée à 12h. donc le climat thermique à l'intérieur de ce bureau 2 est confortable. Puis, nous remarquons que la majorité des profils de Top des salles B1 et B3 se dépassent la limite supérieure de confort. A partir de 12h, la température résultante dans le bureau 1 est supérieure à le seuil de confort, pour faire un écart max de 2,15°C à 14h, tandis que dans le bureau 3, la Top dépasse le seuil à partir de 10h et faire un écart max de 3,50°C à 15h. Dans un autre côté, on note que la température résultante moyenne journalière au niveau des deux espaces, atteint une valeur de 28,77°C dans le bureau 1 et 29,29°C dans le bureau 3. D'après ces résultats, on peut déduire que le climat à l'intérieur de ces deux salles est **inconfortable** au moment de mi-saison.



Graphique V.51 : Courbes de température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (mi-saison), Bâtiment DUAC.

V.8.2.3.2 L'indice PMV dans les espaces de bureaux et le confort de l'utilisateur

Le (Graphe V.52) nous montre que la variation des valeurs de PMV dans le bureau 2 durant la journée, se varie entre deux valeurs ; l'une min égale à 0,5 (sensation proche au neutre) et l'autre max égale à 0,90 (sensation légèrement chaud). Cette valeur max d'indice PMV est atteinte à entre 11h et 13h, avec un indice de PDD égale 22,10%, après, les valeurs de PMV commencent à diminuer pour arriver à une valeur de 0,6 à 17h. La moyenne de l'ensemble de PMV calculés à chaque heure, est d'ordre de 0,75, avec un PDD égale 17,20%. En voyant ces résultats, on les trouve que, le PMV se situe entre le degré neutre et le degré légèrement chaud sur l'échelle de sensation thermique, avec un pourcentage de personnes satisfaites de 83%, on déduit donc que, les conditions thermiques à l'intérieur de ce bureau sont **confortables**. Pour les deux autres salles, on remarque que les valeurs max qui atteignent le PMV sont 1,80 (sensation chaude) à 16h dans le bureau 3 et 1,50 (sensation moyennement chaude) dans le bureau 1 à la même heure. En même temps, à partir du midi, les profils de PMV des deux espaces, prennent des valeurs supérieures à +1, où à 17h, ils enregistrent sur l'échelle thermique une position de +1,4 pour le bureau 3 et +1,3 pour le bureau 1 (Graphe V.52). Aussi, les valeurs moyennes journalières des PMV sont : 1,15 pour le bureau 1, soit un PPD égales à 32,55%, et 1,30 pour le bureau 3, soit un PPD égale à 40,20%. Nous pouvons constater d'après ces résultats que dans la période de mi-saison, l'espace de bureau 3 est le **moins confortable** thermiquement durant la journée, en fait, un pourcentage important (40,20% en moyenne) de personnes que sont encore insatisfaites avec une sensation thermique relativement chaude (PMV =+1,30). et que, le climat intérieur de bureau 1 est **légèrement inconfortable** durant le temps du travail (en moyenne : PMV =1,15, PPD =32,55%).



Graphe V.52 : courbe montrant la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (mi-saison), Bâtiment DUAC.

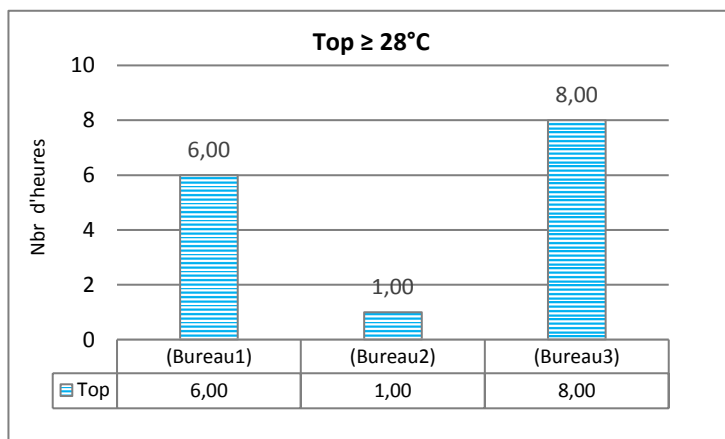
V.8.2.3.3 La Top et la durée du confort thermique dans les bureaux :

Le Graphe V.53 montre que, dans le bureau 1, une période de « 6 heures » dans le jour, les conditions thermiques intérieures sont en dehors de la zone de confort, tandis que dans le bureau 3, un temps de « 7 heures » parmi 9 heures de travail, la température opérative reste supérieure à la limite de confort. En effet, ces nombres d'heures dans lesquels la température résultante dépasse le seuil de confort, sont très significatifs, ils laissent l'air intérieur **inconfortable**

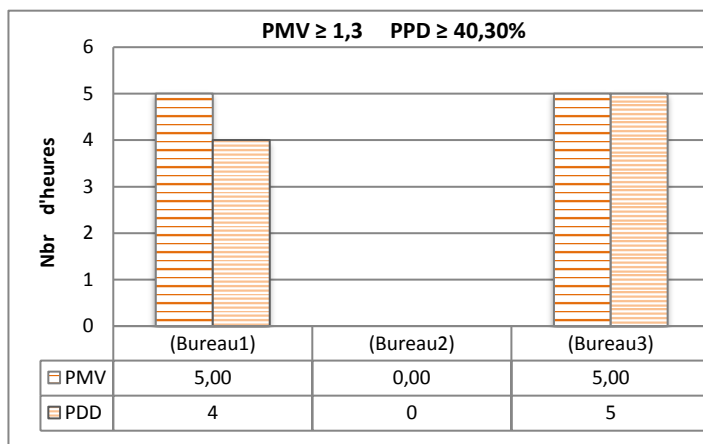
thermiquement, pendant la majorité de temps de travail dans ces deux espaces (B1, B3). Concernant le bureau 2, le graphe en dessous nous informe que, une seule heure a été enregistrée dans le jour, où la Top est dépassée la limite de confort, cette valeur max de Top marquée ici est égale 28,05°C. Ceci, indique que l'écart par rapport au seuil est négligeable (0,5°C), une période de « 8 heures », où la Top est dans la zone de confort, alors il nous permet de conclure qu'en générale (majorité de temps de travail) les conditions thermiques ici sont **confortables**.

V.8.2.3.4 L'indice PMV et la durée d'apparition d'une sensation inconfortable.

Le Graphe V.54 démontre que, une durée de « 5 heures » dans la journée, le PMV est atteint la valeur 1,3 avec un PPD plus de 40,30% dans les espaces de bureau 1 et 3. Ce nombre de « 5 heures » qui soit le demi du temps du travail (9 heures) pendant la journée est une **période importante** dans laquelle, l'air intérieur reste chaud et provoque la sensation **inconfortable** chez les occupants. Dans le bureau 2, on observe d'après le Graphe V.54 en dessous, aucune fois le vote moyen prévisible est égale ou supérieure le degré 1,3 a été enregistrée sur l'échelle de sensation thermique. Donc, on peut déduire que les conditions thermiques intérieures dans ce bureau, sont confortablement perçues dans la période de mi-saison.





Graphe V.53 : histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison). Bâtiment DUAC.



Graphe V.54: histogrammes montrent le nombre d'heure pendant lesquels la sensation inconfortable est apparue dans les bureaux, selon l'indice PMV (mi-saison). Bâtiment DUAC.

V.8.3. Période d'hiver :

Pour la période d'hiver on prend les paramètres que sont liés à l'individu comme il est indiqué dans le tableau ci-contre.

Activité sédentaire de bureau		Chaleur dégagée en (Met)
		1,2
Tenue d'intérieur d'hiver		Isolement thermique en (clo)
		1,0

Pour le paramètre vitesse relative de l'air, rappelons que l'effet de ce facteur sur le confort de l'individu est négligeable tant que ne dépasse pas le 0,20 m/s (U.R.A.C.U.L, 2016)²⁸, donc pour la période d'hiver on prend la valeur de 0,13m/s pour l'ensemble de calcul.

V.8.3.1 Bâtiment Tourisme :

Dans cet immeuble, on a pris les mesures dans la période d'hiver (23 janvier 2016) au niveau de deux espaces de bureau, leurs typologies des baies vitrées sont mentionnées dans le tableau en ci-dessous.

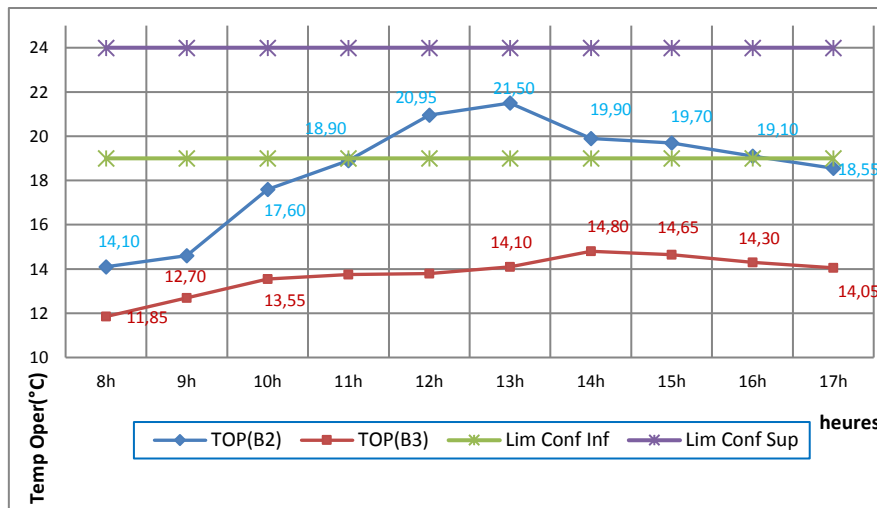
Espace de bureau	Paramètres de la baie vitrée				occupation
	Orientation	Surface	Type de verre	Protection	
Bureau 02	Sud -est	8,46m ² (71%)	Double 4/9/4	Sans	2 Pers
Bureau 03	Sud -Ouest	2,63m ² (30%)	Simple 6mm	Sans	2Pers

Tableau V.9 : Aspects Typologiques des baies des bureaux où prise les mesures d'Hiver (Tourisme).

V.8.3.1.1 La température résultante dans les bureaux et la plage de confort :

De la comparaison de la température résultante avec la plage de confort dans la période d'hiver au sein des deux espaces, on constate que la Top au niveau de bureau 3 est en dessous de la limite inférieure de confort durant toute la journée. À 15h, la Top a atteint une valeur max (14,80°C) et fait un écart minimum de 4,2°C avec la limite inférieure de confort. De ce fait, on déduit que les conditions thermiques à l'intérieure dans ce bureau est **inconfortables** dans la période d'hiver. Pour le bureau 2, on remarque (Graphe V.55) que durant la durée entre 8h et 11h (soit 3heures) le profil de Top est inférieur à la limite inférieure, puis (soit une durée de 6heures) il augmente pour se situe dans la zone de confort. À 14h, la Top a atteint sa valeur max de 21,50°C, pour faire une marge avec le seuil inférieur de 2,50°C, aussi on note que la température résultante moyenne durant toute la journée est 18,50°C, c'est-à-dire une valeur plus proche au seuil inférieur de confort. Donc on peut conclure que l'état thermique ici (bureau2) est généralement **confortable** dans une journée de l'hiver.

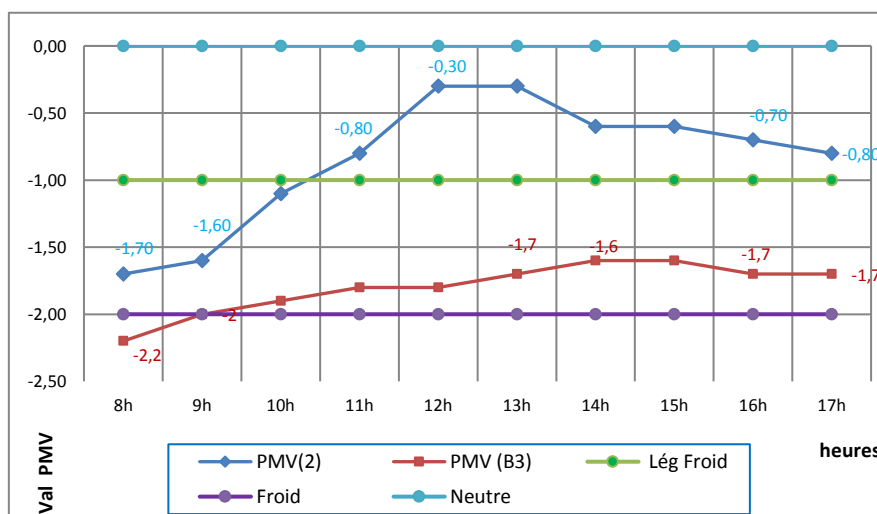
²⁸ Unité de Recherche Architecture et Climat de l'Université de Louvain, energieplus-lesite.be [en ligne].2016.



Graph V.55: Courbes de température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (Hiver) .Bâtiment Tourisme.

V.8.3.1.2 L'indice PMV et la sensation thermique à l'intérieur des bureaux :

Dans ce palier, qu'est l'évaluation de l'état thermique à travers les indices PMV et PPD, on remarque d'après le Graph V.56 que, le profil de PMV de bureau 3 est se situe entre les deux degrés, froid (-2,00) et légèrement froid (-1,00) sur l'échelle thermique, durant la journée. En effet, la moyenne de l'ensemble des PMV calculés pendant la journée est égale -1,80 avec une PPD égale 66,55%, ce qui veut dire que la sensation thermique ici en générale est **froide** est un pourcentage important de personnes insatisfaites, égale plus de la moitié. Dans l'espace de bureau 2, on remarque qu'à partir de 10h20 (soit 7heures de temps), la variation de profil de PMV est localisée dans le domaine thermique entre la sensation légèrement froid (-1 ,00) et neutre (0). Deux fois, le PMV est atteint une valeur max de (-0,30), soit un PPD égale à 6,9%, et le calcul moyenne de PMV durant les heures de la journée donne la valeur de -0,85 avec un PPD égale à 23,53%. D'après ces derniers résultats, on voit que la valeur de PMV n'atteint pas encore la sensation **légèrement froide**, elle y est au-dessus, avec un pourcentage de personnes satisfaites est égale plus de 77%, on peut conclure par conséquent que l'état thermique dans ce bureau à cette période d'hiver, est généralement **confortable**.



Graph V.56 : courbe montrant la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (saison d'hiver), Bâtiment Tourisme.

V.8.3.2 Bâtiment DTP :

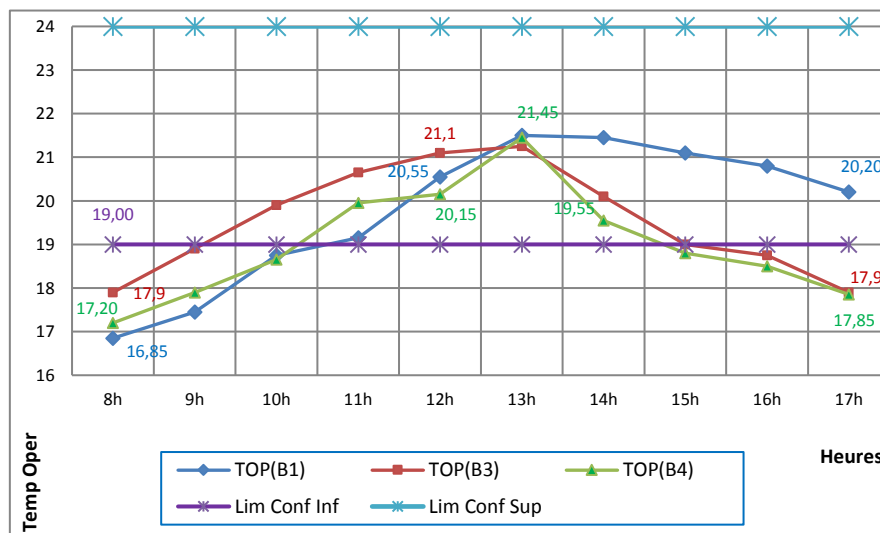
Dans le bâtiment DTP, on a pris les mesures dans la période d'hiver (25 janvier 2016) au niveau de trois espaces de bureau, les baies vitrées de ces salles ont les mêmes paramètres de surface, type de verre et le système de protection, elles se changent seulement dans la variable d'orientation, le tableau en ci-dessous, montre plus ces détails.

Espace de bureau	Paramètres de la baie vitrée				occupation
	Orientation	Surface	Type de verre	Protection	
Bureau 02	Sud -S est	9,16m ² (69%)	Double 4/9/4 +film réfléch (face2)	Rideau moy inter	2 Pers
Bureau 03	Sud -est				2Pers
Bureau 04	Sud -est				3Pers

Tableau V.10 : Aspects Typologiques des baies des bureaux où prise les mesures d'Hiver (DTP).

V.8.3.2.1 La température résultante dans les bureaux et la plage de confort :

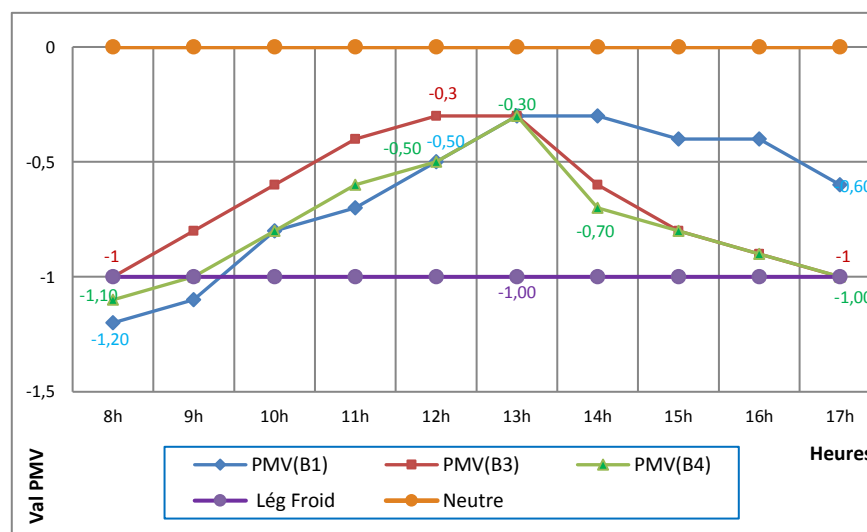
On remarque d'après le Graphe V.57 que, durant majorité des heures de travail, les valeurs de la température résultante sont au-dessus de la limite inférieure de confort dans les trois espaces de bureau. En effet dans les bureaux 1 et 4, à partir de 11h du matin, leur Top dépasse le seuil inférieur, pour atteindre une valeur max de 21,50°C (un écart de 2,50°C) à 13h dans le bureau 1 et 21,45°C dans le bureau 4. Quant au bureau 3, à partir de 9 heures du matin, la **Top** commence à prendre des valeurs que se situent dans la zone de confort, à 13h, elle atteint une valeur max de 21,25°C. Les valeurs moyennes journalières de la Top sont : 19,78°C pour le bureau 1, 19,54 pour la salle de bureau 3 et 19,00 au sein du bureau 4, elles sont toutes dans la zone de confort, alors, on peut déduire que le climat thermique intérieur dans ces trois espaces est **confortable** en journée d'hiver.



Graphique V.57 : Courbes de température Opérative (Top) dans les espaces de bureaux et la limite de confort (Hiver). Bâtiment DTP.

V.8.3.2.2 L'indice PMV et la sensation thermique à l'intérieur des bureaux :

Dans cette deuxième face d'évaluation de l'état thermique, on constate d'après le graphe en ci-dessous que, les profils de PMV dans les trois espaces de bureau se localisent dans la zone de perception thermique défini par les positions légèrement froids (-1) et neutre (0). On note aussi que, les valeurs moyennes de PMV calculés durant la journée sont dans l'ordre suivant : (-0,63) soit un PPD égale 15,26% pour l'espace de bureau 1, (- 0,67) équivalent à un PPD égale 15,84% pour le bureau 3 et (-0,77) convient à un PPD égale 18,67% à pour le bureau 4. Ces traits de résultats, indiquent que les valeurs moyennes de PMV en période de travail, sont toutes supérieures de la valeur (-1), qui correspond à la sensation légèrement froide avec des pourcentages de personnes satisfaites plus de 81% dans les trois cas de bureau. On peut conclure alors, que l'état thermique des occupants dans ces bureaux dans le bâtiment DTP, est **confortable** dans le moment de l'hiver.



Graphique V.58 : courbe montrant la variation des valeurs de PMV dans les espaces de bureaux (saison d'hiver), Bâtiment DTP.

Conclusion :

Après l'analyse des données objectives de confort thermique faite à travers ce chapitre, dans trois cas de bâtiments étudiés, nous pouvons conclure les résultats suivants. Tout d'abord, au niveau d'analyse corrélative, on note que, le paramètre orientation de la baie vitrée, affectent considérablement la température de l'air intérieur, en effet l'apport thermique à travers la baie dû aux radiations solaires incidentes, est se diffère pour chaque orientation, dans le bâtiments Tourisme, les espaces dont le baie orientées Est-sud-est et Sud-est présentent des températures ambiantes les plus élevées, tandis que dans le bâtiments DTP, les bureaux dont les baies orientées Sud-est et Sud, sont les espaces dont les température de l'air les plus hautes. Pour le cas du bâtiment DUAC, les espaces qui possèdent des baies orientées au Sud et au Sud-sud-ouest, enregistrent des valeurs de températures ambiantes supérieures. Puis, le paramètre de système de protection solaire des baies vitrées, a un rôle major dans l'absorption du rayonnement solaire transmis avant (système extérieur) et après (système intérieur) qu'il frappe la paroi vitrée. Dans les cas des bâtiments DTP et DUAC, les espaces de bureau dotent deux systèmes de protection intérieure, que sont les rideaux et les stores à lame intérieur clair. On a constaté que le pourcentage d'énergie transmise à l'intérieur de ces espaces est moins que celui

transmis à l'intérieur des espaces de bureau dans le cas du bâtiment Tourisme, où leurs baies ne possèdent aucun système de protection. Alors, avec l'absence de cette variable dans le cas du Tourisme, on a enregistré des températures intérieures plus élevées en comparaison avec les deux autres cas d'étude. Ensuite, le paramètre de type de verre utilisé au niveau de la baie, a un effet sur le l'augmentation de la chaleur intérieure et le bilan radiatif. En effet, pour les cas des espaces où les baies comportent de vitrage double, la résistance thermique est plus ou moins forte par rapport aux espaces où leurs baies possèdent une vitre simple. Pratiquement, la quantité de transmission thermique à travers les baies qui ont un type de verre double, est moins que celles qui ont un simple, pour la même surface vitrée, mais quand cette dernière se change, le pourcentage de transmission se change et aussi. On a étudié, l'effet de ce paramètre de la baie (surface vitrée), sur le bilan radiatif à l'intérieur des espaces, dans le cas du bâtiment Tourisme on a marqué que, la température moyenne radiante au sein des espaces dont le pourcentage d'ouverture vitrée égale 70%, est plus hautes que la température radiante à l'intérieur des bureaux dont le pourcentage d'ouverture vitrée égale 30%.

En ce qui concerne le cas du bâtiment DTP, il est enregistré que le bilan radiatif pour des espaces ont un pourcentage d'ouverture vitrée de 69% plus grand que celui au niveau des bureaux dont l'indice d'ouverture vitrée de 17%. Malgré que type de verre utilisé dans le cas d'indice de 69% est plus résistant (double) que celui utilisé dans le cas d'indice de 17%(simple), le bilan radiatif dans le premier cas est plus grand, puisque la surface vitrée est plus importante. Pour le cas du bâtiment DUAC, on a trouvé que dans l'espace de bureau dont l'indice d'ouverture vitrée 74%, la température radiante est plus élevée en comparaison avec les deux autres espaces, dont les indices de 47% et 54%.

En ce qui a trait à, l'évaluation de l'état thermique par les indices thermiques, on a déduit les points suivants : dans le cas du bâtiment Tourisme, deux espaces de bureaux qui ont des ratios des baies vitrées de l'ordre 70%, orientées Sud-est, présentent un climat thermique intérieur inconfortable dans la période de mi-saison. En revanche, les deux autres bureaux qui ont un indice d'ouverture de 30% et qui sont donnés sur le Sud-ouest et le Nord-est, leur climat intérieur est se situe dans la zone de confort, pendant la même période. Pour le deuxième cas d'étude, qui est l'immeuble de la DTP, les climats intérieurs au sein de cinq 05 espaces de bureaux ont été évalués. L'état thermique à l'intérieur de deux bureaux parmi eux, est inconfortable, la conformation architecturale de ces deux espaces, possède un ratio d'ouverture vitrée sur l'extérieur de 69%. L'une de baie vitrée de ces conformations est orientée au *Sud-sud-est* et l'autre donne au *Sud*. Les trois autres espaces disposent des baies dont chacune constitue un pourcentage d'ouverture sur l'extérieur égale 17%, et orientées, à l'Est, au Sud-sud-ouest et à l'ouest. Elles se caractérisent par un climat thermique intérieur en moment de mi-saison, qui situe dans la zone de confort. En ce qui concerne le troisième cas d'étude, qui s'agit d'immeuble de DUAC, l'évaluation thermique est faite au niveau de trois espaces architecturales, la première a un indice d'ouverture égale 43% et orientée Sud-sud-ouest, la deuxième a un indice égal 54% et orientée à l'Est sud-est et la troisième a un indice égal 74% et orientée au Sud. Pour les trois cas le type de vitrage utilisé au niveau de la baie est double, avec système de protection intérieur qui s'agit d'un store à lame clair. Il est trouvé que, la sensation thermique à l'intérieur des espaces architecturales que sont orientées au Sud- sud-ouest (43% d'ouverture) et au Sud (74% d'ouverture), est inconfortable, et à l'intérieur d'espace orienté à l'Est sud-est (54% d'ouverture), est confortable dans le moment d'Automne.

CONCLUSION GÉNÉRALE

(Synthèses, recommandations, limites et perspectives de la recherche).

Introduction

D'abord, cette recherche s'inscrit dans la thématique qui étudie le rapport entre les facteurs physiques de l'environnement et la conception architecturale. Elle se penche particulièrement sur l'étude des relations qui se tissent entre le climat et l'architecture de l'enveloppe du bâtiment. En fait, l'insertion du facteur du climat dans la conception architecturale est une étape importante dans le processus de conception. C'est ainsi que plusieurs chercheurs tels que A. Rapoport (1972) et R. Banham (1984), ont montré que ce facteur physique de l'environnement est un élément déterminant dans la création de la forme bâtie. D'ailleurs, l'intégration de l'élément environnemental dans les créations des formes architecturales est un aspect plus tangible dans l'architecture vernaculaire, notamment celle du Sud algérien. Cette architecture populaire qui a été toujours, un thème de recherche pour plusieurs chercheurs et dans différentes disciplines, comme l'architecture, l'urbanisme et la sociologie, nous enseigne comment le facteur environnemental a joué un rôle crucial dans la conception, tant pour les entités urbaines que pour les unités de bâti.

Dans ce contexte, cette étude a focalisé plus précisément sur le facteur climatique, comme facteur physique de l'environnement, et la baie vitrée, comme à la fois, une composante de l'enveloppe et un élément de conception architecturale. Elle a eu pour objectifs est de voir comment dans un milieu à climat chaud et sec, l'architecture de la baie vitrée peut influencer les ambiances thermiques intérieures. Par la suite, déterminer les caractéristiques morphologiques nécessaires de la baie, que doit prendre en compte, au processus de conception dans ce milieu chaud et sec.

Processus de la démarche et synthèses :

Dans cet ordre d'idées, nous avons fait un état des lieux d'un ensemble des recherches qui ont un lien avec à notre sujet, ce qui nous a permis de cadrer le contexte empirique de notre recherche. Ensuite, pour élaborer les objectifs cités ci-dessus, cette étude a suivi une démarche structurée, qui se compose de deux parties. La première, représente le cadre théorique et méthodologique dans lequel on a mis la lumière sur les différents concepts et méthodes utilisées dans cette thématique et qui sont liées à notre sujet d'étude. L'objectif de cette partie est de faire comprendre les notions et les dimensions clés qui composent notre étude, ainsi que les relations qui s'instaurent entre ces dimensions et qui tournent autour de notre sujet. Sur ce point, ce contexte théorique est composé en deux chapitres qui, sont respectivement : le confort thermique dans le bâtiment, la baie vitrée et l'architecture de verre.

Au niveau du premier chapitre, dans une perspective de compréhension du confort thermique de l'occupant à l'intérieur du bâtiment et son rapport aux éléments architecturaux de l'édifice, on a pu toucher des points qui sont organisés sur un ordre bien précis. D'abord, on a essayé de définir la notion du confort en général, en reprenant les travaux de quelques chercheurs, comme C. A. Roulet (2002), G. Moser (2006) et A. Belakehal (2012). On a trouvé que cette notion correspond aux différents aspects ; sensoriel, matériel, esthétique, existentiel, social et de conformité. Et elle peut impliquer aussi, au moins trois champs disciplinaires : l'architecture, les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines. Ensuite, on a mis la lumière particulièrement sur la définition du confort thermique, en se basant sur ce qu'ont trouvé B. Givoni (1978) et L. Adolphe (2002). D'après ceci, on a tiré une synthèse affirme que la notion du confort thermique a à la fois un caractère subjectif d'où, dans la même ambiance, chaque personne peut exprimer son propre état de bien-être thermique, et un caractère objectif, qui est les facteurs physiques de l'environnement. Celles-ci interviennent pour qu'un individu exprime son bien-être. Après, on a cité ces paramètres physiques qui affectent le confort thermique de l'utilisateur et qui sont liés à l'environnement. Ils sont la température de l'air ambiant, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température moyenne

radiante. Ces derniers affectent simultanément le corps humain avec d'autres paramètres qui sont d'ordre physiologique, liés à l'individu. Ils sont l'activité métabolique et le degré d'isolement par les vêtements. Puis, on a distingué entre deux approches qui sont utilisées dans la recherche sur le confort thermique dans le bâtiment, la première est une méthode analytique basée sur les études de laboratoire, la deuxième base sur les études de terrain, elle est adaptative. Parmi les modèles d'évaluation utilisés dans la première méthode, on a cité deux : ceux de Fanger (1970) et de Gagge. Quant à la deuxième, on a mis la lumière sur le projet de recherche de RP-884 de l'ASHRAE mené par Dear, Brager et Cooper, (1997) et celui de SCAT's (Smart Control And Thermal Comfort) mené par Nicol, McCartney, Fergus, (2002). Après cette phase, on a cerné quatre indices d'évaluation de l'état thermique, qui sont : le vote moyen prévisible (PMV), le pourcentage de personnes d'insatisfaits (PPD), la température effective (TE) et la température opérative (Top). Ils sont un moyen qui nous permet de déterminer l'impression thermique de l'utilisateur au sein de son espace. Ces indices sont obtenus par la combinaison des paramètres physiques et physiologiques dans une seule formule. En dernier lieu, on a exposé un autre outil d'évaluation de l'état thermique, il s'agit des cartes ou diagrammes bioclimatiques. Ces cartes utilisent les données climatiques et le confort humain pour repérer les conditions de confort thermique dans un contexte, ainsi ils donnent au concepteur des orientations et recommandations constructives qui permettent l'ajustement de confort intérieur. Elles se présentent généralement sur des graphiques psychrométriques. Trois diagrammes bioclimatiques ont été exposés ici, qui sont les plus fréquemment utilisés, il s'agit de diagramme de Givoni, de Olgyay et les tables de Mahoney.

Ce qu'on a tiré de ce chapitre est que pour bien caractériser l'état thermique des occupants, à l'intérieur de leurs espaces, il est indispensable de faire adopter dans notre analyse, les deux approches de confort thermique, en plus, évaluer les périodes de confort et d'inconfort thermique de notre contexte d'étude à l'aide des diagrammes bioclimatiques. L'utilisation de ces outils a pour objectifs de connaître les règles architecturales utilisées pour l'ajustement de confort à l'intérieur du bâtiment, puis les projeter sur la conception et la morphologie des ouvertures de façades des bâtiments à étudier.

Dans le deuxième chapitre, destiné à la baie vitrée et l'architecture de verre, nous avons essayé en premier lieu, à travers de diverses définitions venant de dictionnaires d'affiner le sens de la baie vitrée étudiée dans notre recherche. Il s'agit une grande ouverture vitrée percée dans le mur et incluant dans la plupart des cas un ouvrant. Puis, on a mis l'accent sur l'évolution historique de l'ouverture de la fenêtre dans les œuvres architecturales, et son rapport au confort thermique et l'aspect énergétique. On a déduit à ce stade que les nouveaux procédés constructifs et l'introduction de nouveaux matériaux (acier, verre) à partir du 19^e siècle sont des stations marquantes qui ont élargi le vocabulaire architectural de la fenêtre. En effet, à partir de ce moment-là, il a été rendu possible d'utiliser de fenêtre vitrée à surfaces plus grandes sur la façade du bâtiment. Ensuite, on a fait une description de principales composantes structurales de la baie, à savoir le rôle et l'influence de chaque constituant sur les performances thermiques et le confort surtout, dans le bâtiment. En dernier lieu, et puisque le matériau verre, est le composant principal, qui occupe la majorité de la surface de la baie, et la peau à travers laquelle, les transmissions thermiques entre l'intérieur et l'extérieur se font, on a se survolé sur ses propriétés thermo-physiques et lumineuses.

La deuxième partie de ce mémoire, est constituée par le cadre analytique dans lequel, il est présenté le contexte et le cas d'étude, la méthode d'approche adoptée pour la collecte des données et enfin l'analyse et l'interprétation des résultats. Elle comporte trois chapitres qui sont respectivement : le cas d'étude et la méthodologie d'approche, les indicateurs subjectifs et les indicateurs objectifs de confort thermique à l'intérieur des espaces à étudier.

Pour le premier chapitre de cette partie qui est le chapitre trois du mémoire, il est composé de deux parties. La première est destinée pour présenter et faire une lecture de cas d'étude de notre recherche. Au début, on a décrit le contexte d'étude qui est la ville de Béchar en utilisant une analyse climatique et bioclimatique. Ce contexte est situé au Sud-ouest algérien, se caractérise par un climat chaud et sec, ce climat est distingué par deux saisons, une longue saison chaude et torride et une saison froide plus courte. Alors pour garantir le confort de l'occupant dans ce contexte, la conception architecturale se fonde sur les exigences de la période chaude. Après, on a exposé la population d'étude constituée d'immeubles de bureaux à Béchar et qui proviennent de trois périodes ; colonial, postcoloniale et contemporaine. Ceci nous a permis de sélectionner les échantillons reflétant les caractéristiques d'architecture des bâtiments définies dans le problème de recherche. Nous avons sélectionné trois immeubles de bureaux issus de la période contemporaine dont les ouvertures vitrées sur la façade sont grandes. Ils sont ; le siège de la DTP, de la DUAC et du Tourisme et d'Artisanat. Les critères de sélection de ces immeubles sont :

- Grandes surfaces vitrées pour les façades.
- Ce sont les premiers bâtiments qui ont été construits à Béchar.
- La durée d'occupation de ces immeubles par les employés est entre cinq et sept ans.

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la méthodologie utilisée pour la collecte de données. Suite à la revue de littérature que nous avons faite sur le confort thermique, nous avons constaté que la caractérisation du confort thermique à l'intérieur de l'espace architectural nécessite des mesures subjectives liées à l'individu et autres mesures objectives liées à l'environnement. Pour cela, nous avons procédé à **une enquête in situ**, qui se réalise à l'aide des mesures physiques de l'ambiance et les réponses perceptives et affectives des occupants. Pour ce qui des mesures physiques, on les a réalisées avec des appareils de mesures que sont un thermo-hygromètre et un thermomètre à infrarouge. En ce qui concerne les mesures subjectives, on s'est basé sur la technique de questionnaire.

A travers le quatrième chapitre on a pu faire une analyse des données recueillies par la technique de questionnaire au sein de trois cas d'étude. Ces données ont été divisées en deux catégories : les **conduites perceptives** regroupent les jugements subjectifs, les jugements d'acceptabilité, l'adaptation et la satisfaction de l'utilisateur vis-à-vis les conditions thermiques intérieures. Et les **conduites comportementales** incluent les actions d'adaptations comportementales de l'utilisateur envers son espace intérieur, pour l'ajustement de son état thermique. Les critères d'échantillonnage des bureaux pour l'enquête dans les bâtiments étudiés sont faits selon l'analyse conceptuelle de la recherche, à savoir le rapport entre les paramètres de la baie vitrée présentée dans chaque bureau et les réponses subjectives des employés, envers leur environnement thermique. Ces critères sont : la surface vitrée, l'orientation et la présence ou non d'une protection solaire. Alors nous avons pu sélectionner trente bureaux pour le questionnaire, les plus investis sont les bureaux dont les baies vitrées sont orientées suivant la zone qui situe entre les deux points cardinaux Sud-est et Sud-ouest, de type partagé (plus d'une personne par bureau), donnant sur la façade extérieure et qui ont des surfaces vitrées plus de 40% de surface de mur. Ensuite les résultats recueillis des mesures subjectives des employés ont été analysés suivant trois niveaux ; une analyse univariée, bivariée et multivariée.

Les conduites perceptives des employés :

Dans le cas du bâtiment Tourisme, on a constaté que les bureaux orientés **Sud-est** avec un indice d'ouverture de l'ordre de **70%** et qui **ne disposent pas des occultations intérieures**,

étaient les plus défavorables en confort thermique. Dans ces locaux les conduites perceptives des employés étaient :

- Insatisfaction de la fraîcheur en période chaude.
- Une difficulté d'accepter la température intérieure dans ces moments de l'année.
- En période froide, ils acceptent les températures intérieures, et ils sont satisfaits des conditions thermiques intérieures, en comparaison avec les espaces qui sont orientés Sud-ouest et Nord-est.

Dans le deuxième cas d'étude (bâtiment DTP), l'ensemble de bureaux orientés **Sud-sud-est** dont l'indice d'ouverture de **69%** étaient les plus défavorables en confort thermique de l'utilisateur en période chaude. Ici la plupart des réponses ont été fournies par les occupants étaient chaud et très chaud en été et légèrement froid en hiver. Bien que dans ce cas d'étude, des rideaux intérieurs sont installés à l'intérieur en plus l'utilisation de moyens mécaniques (climatiseur), les usagers préféraient avoir plus froid à l'intérieur dans ces espaces.

Dans le troisième cas d'étude qu'est le bâtiment DUAC, la plupart des personnes enquêtées qui sont dans les espaces orientés **sud-sud-est** et **sud-sud-ouest** avec un indice d'ouverture de l'ordre de **43%** et **74%** et possèdent des **stores intérieurs**, perçoivent le climat intérieur dans leur bureau **chaud** en Été. Elles n'étaient pas satisfaites des conditions de température en été malgré l'utilisation des moyens mécaniques.

Les conduites comportementales des usagers :

En ce qui concerne les indicateurs comportementaux, on a trouvé que dans les trois cas d'étude, les occupants ont fait appel aux différentes stratégies d'adaptation pour améliorer leur confort thermique en été comme en hiver.

- La majorité des occupants utilisent des moyens mécaniques (climatisation) durant une période assez importante dans l'année.
- Dans certains cas où la chaleur est très élevée dans la période estivale, l'utilisateur tend à changer soit son poste de travail en trouvant un autre espace plus confortable dans le même bureau, soit à changer l'espace de bureau, en allant travailler dans un autre bureau plus confortable par rapport à celui où il se trouve.
- L'étalement des rideaux intérieurs est une manière très utilisée par l'utilisateur afin de limiter les rayons solaires directs qui viennent frapper directement les parois vitrées des bâtiments.
- Dans le bâtiment Tourisme et comme le système de protection des baies n'existe pas, l'utilisateur recourt à coller le papier sur les surfaces vitrées de leurs bureaux, de sorte à en faire limiter le gêne causé par les taches solaires directes.

Le rapport paramètres de la baie et conduites perceptives et comportementales :

À ce stade on a examiné l'effet de trois indicateurs de la baie (l'orientation, la dimension et l'effet des rideaux intérieurs) sur les réponses perceptives et comportementales de l'utilisateur. Alors pour le cas du bâtiment DTP, on a constaté que dans les espaces dont la dimension de l'indice de vitrage est 69%, orientés Sud-sud-est et portent des rideaux intérieurs, les points suivants :

- Les employés perçoivent la température intérieure en été très **chaude** et **inacceptable**.
- Ils ont jugé l'effet des rideaux comme **moyen** ou **nul**.
- Ils sont **insatisfaits** de ces conditions thermiques intérieures.

- Au niveau de l'ouverture l'employé voile les rayons solaires à travers le vitrage en utilisant des objets (armoire, boîtes en carton), et au niveau de l'espace, il change soit l'endroit de la table de travail dans le bureau soit change l'espace bureau lui-même.

Pour le cas du bâtiment Tourisme, les résultats d'analyse ont démontré les points suivants :

Les espaces qui ont un indice d'ouverture de **70%** orientées Sud-est ont été les plus **défavorables** dans le confort thermique en période estivale. En effet, les usagers qui occupent ces locaux ont déclaré les points suivants :

- **Insatisfactions** envers la température intérieure en période chaude.
- Dans la même période, cette température intérieure est **inacceptable**.
- Au niveau de la baie vitrée, l'action comportementale la plus marquée chez eux est voiler les rayons solaires directs à travers le vitrage par des objets ou du papier collé directement sur le vitrage.

En somme, on a pu constater d'après ce chapitre que les indicateurs subjectifs du confort thermique mesuré chez les usagers par ce questionnaire, ont montré **l'insatisfaction thermique** chez les employés au sein des espaces de bureaux qui possèdent des baies vitrées dont les paramètres sont :

- L'indice d'ouverture est 40% ou plus.
- Leurs orientations donnent suivant la zone délimitée par les points cardinaux : Sud-est et Sud-ouest.

Alors ces baies vitrées influencent les ambiances thermiques intérieures.

En dernier lieu, la caractérisation du confort thermique dans les bureaux est faite par les mesures in situ. Ces mesures physiques ont eu pour but est de mesurer la dimension objective du confort. Pour cela, ce dernier chapitre (chapitre 5), est consacré à l'analyse des données qui ont été recueillies par la technique de mesure et d'observation exploratoire. Alors à l'aide des appareils, trois paramètres de l'environnement intérieur ont été mesurés : la température de l'air, l'humidité relative et la température moyenne radiante des parois. Ils sont pris dans deux périodes distinctes, le mois d'octobre et le mois de janvier, au sein de trois bâtiments et dans différents bureaux qui possèdent des baies vitrées dont les paramètres sont variés. Ensuite, on a déterminé une zone de confort thermique pour notre cas d'étude, en nous appuyant sur l'analyse climatique et les diagrammes bioclimatiques qui sont faits sur la ville de Béchar par notre étude, et les consignes des chercheurs et des organismes internationaux. Pour la caractérisation de l'état thermique à l'intérieur de ces espaces, on s'est basé sur trois indices thermiques, le vote moyen prévisible, le vote de personnes d'insatisfaits et l'indice de température résultante. En ce qui concerne l'analyse des rapports entre les paramètres de la baie vitrée et les conditions thermiques intérieures, notre analyse est faite suivant trois paliers d'analyse ; la première est descriptive, la deuxième est corrélative, traitant l'effet de chaque paramètre de la baie sur le changement des facteurs environnementaux mesurés, la troisième est un niveau qui a étudié l'effet de l'ensemble des paramètres de la baie sur le confort thermique intérieur.

Après cela, on a pu saisir les traits suivants :

Le rapport orientation de la baie et la température de l'air intérieur :

Dans le bâtiment Tourisme, nous avons constaté que les espaces dont les baies orientées **Est-sud-est** et **Sud-est** présentent des températures de l'air ambiant les plus élevées. Au niveau du bâtiment DTP, les températures intérieures des bureaux donnant sur le Sud-est et le Sud, sont

les plus **hautes**. Et pour le cas d'immeuble DUAC, on a distingué que les températures intérieures les plus **élevées** ont été enregistrées dans les espaces qui possèdent des baies percées sur les façades donnant sur le Sud et Sud-sud-ouest.

Le rapport système de protection et la température de l'air :

L'étude de cette variable, nous a permis de montrer que dans l'ensemble des bureaux étudiés au niveau de deux immeubles DTP et DUAC, le pourcentage d'énergie transmise à l'intérieur de ces espaces est moins que celui transmis à l'intérieur des espaces trouvés dans le bâtiment Tourisme. En effet, les baies de ce dernier, dépourvues de toute sorte de systèmes d'occultation intérieure.

Le type de verre et le bilan radiatif :

Au niveau de ce paramètre, on a pu conclure que, en pratique la quantité de transmission thermique à travers les baies qui ont un type de verre double, est moins que celles qui ont un simple, pour la même surface vitrée et la même orientation. En raison que, la résistance thermique de verre double est la plus élevée. Cependant, lorsque la dimension de la surface vitrée présentée sur la façade se change, le pourcentage de transmission thermique se change aussi. A cet effet, on a étudié la relation entre la surface vitrée et le bilan radiatif à l'intérieur de l'espace.

Le rapport dimension de l'ouverture vitrée et la température moyenne radiante :

A travers cette étape d'analyse, nous avons montré que l'augmentation de la température moyenne radiante a suivi l'augmentation de l'indice d'ouverture vitrée. Autrement dit, on a trouvé au niveau de trois bâtiments étudiés que, plus la dimension de la baie est grande, plus la température radiante enregistre des valeurs plus élevées. En effet, dans le cas du bâtiment Tourisme, la température moyenne radiante au sein des espaces dont le pourcentage d'ouverture vitrée égale 70%, est plus **haute** que celle des bureaux dont le pourcentage d'ouverture vitrée égale 30%. Dans le bâtiment DTP, les mesures sont faites au niveau deux espaces de bureau, le premier a un indice d'ouverture égale à 69% et la deuxième a un indice de 17%. Nous avons constaté que malgré le type de verre utilisé dans le cas d'indice de 69% est plus résistant (double) que celui utilisé dans le cas d'indice de 17%(simple), la température moyenne radiante était plus élevée dans le premier cas. Aussi, pour le cas du DUAC, la valeur la plus **élevée** de la température radiante était enregistré dans le bureau qui a un indice d'ouverture 74%, en comparaison avec les deux autres dont les indices de 47% et 54%. Cela, a montré bien l'effet de ce paramètre (dimension) sur le bilan radiatif intérieur, c'est-à-dire la valeur de la température radiante à l'intérieur de l'espace bureau, est conformément liée à l'indice de l'ouverture vitrée.

La baie vitrée et l'état thermique à l'intérieur des espaces de bureau :

Dans cette dernière étape, pour saisir le rapport entre de l'ensemble des paramètres de la baie vitrée présentée dans chaque espace, et l'ensemble des paramètres mesurés dans la même espace, on était basé sur le calcul des indices thermiques, PMV, PPD et Top. En effet, ces indices regroupent l'ensemble de ces paramètres mesurés, combinés en un seul facteur. Par conséquent, ces indices, nous ont permis de caractériser l'état thermique de l'utilisateur. L'évaluation est réalisée selon deux niveaux : l'un est **qualitatif** qui s'agit d'une comparaison des valeurs de ces indices avec les limites de confort qui ont été définies au début, pour notre cas d'étude. L'autre est d'ordre **quantitatif**, s'agit d'une détermination de la durée en heures, pendant laquelle ces indices sont en dehors de la zone de confort. Alors, d'après cette analyse des indicateurs objectifs du confort thermique, nous avons constaté les résultats suivants indiqués sur le Tableau 1 en ci-dessous :

Conclusion générale

Période de mi-saison (octobre)												
Immeuble	Bureau	Paramètres de la baie				Niveau qualitatif (valeur moyenne atteinte)			Niveau Quantitatif (durée d'inconfort thermique)			Etat thermique
		Orient	Indice d'ouver	Type de verre	Syst de Prote	Top (°C)	PMV	PPD(%)	Top≥ 28°C	PMV≥ +1,3	PPD≥ 40,30%	
Tourisme	B1	Sud-est	70%	double	sans	29,97	+1,43	47,30	8	7	7	Inconfortable
	B2	Sud-est	70%	double	sans	30,76	+1,60	56,39	8	7	7	inconfortable
	B3	Sud-ouest	30%	simple	sans	28,30	+0,97	25,25	6	0	0	confortable
	B4	Nord-est	30%	simple	sans	26,22	+0,48	10,85	0	0	0	confortable
Direction Travaux Publics	B1	Sud-sud-est	69	double	Rid inter clair	31,18	+1,75	63,24	8	7	7	Inconfortable
	B2	Sud				31,10	+1,71	61,54	8	7	7	Inconfortable
	B5	Sud-S-ouest	17	simple	Store à lame vert	27,26	+0,82	20,04	4	0	0	confortable
	B6	Est				25,90	+0,41	9,36	0	0	0	confortable
	B7	Ouest				25,26	+0,27	7,02	0	0	0	confortable
Direction d'Urb, d'Archi et de Constr	B1	Sud-S-ouest	43	double	Store à lame inter clair	28,77	+1,12	32,53	6	5	4	inconfortable
	B2	Est-S-est	54			27,38	0,75	17,19	1	0	0	confortable
	B3	Sud	70	double	Store à lame vert	29,30	1,27	40,16	7	5	5	inconfortable
Période d'hiver (janvier)												
Tourisme						Top(°C)	PMV	PPD(%)	Top≤ 18,50 °C	PMV≤ -0,90	PPD≥ 22,10%	
	B2	Sud-est	70%	double	sans	18,49	-0,85	23,53	3	3	3	Confortable
	B3	Sud-ouest	30%	simple	sans	13,76	-1,80	66,58	9	9	9	Inconfortable
Direction Travaux Publics	B2	Sud-S-est	69	double	Rid inter clair	19,78	-0,63	15,26	2	2	2	Confortable
	B3	Sud-est				19,54	-0,67	15,84	3	3	2	Confortable
	B4	Sud-est				19,00	-0,77	18,67	4	4	3	Légèrement inconfortable

Tableau 1: Tableau récapitulatif de l'état thermique objective à l'intérieur des bureaux, dans les trois immeubles de bureaux.

Ce que l'on peut retiendra de cette dernière analyse, est que les bureaux, qui possèdent des baies vitrées dont l'indice d'ouverture plus de 43%, et qui étant donnée suivant la zone délimitée entre les points cardinaux Sud-est et Sud-ouest, sont **inconfortables** thermiquement. Et cet état d'inconfort thermique a été enregistré, même pour les cas où le vitrage utilisé pour les baies est double (4/9/4), et la présence d'un système de protection intérieur de type : rideau clair, store à lame verticale et store à lame horizontale au niveau de ces ouvertures.

Conclusion

Donc pour ces motifs cités auparavant, on peut conclure que, les deux paramètres ; la dimension et l'orientation de la baie vitrée, présentes dans l'espace bureau, engendrent simultanément à des conditions thermiques inconfortables pendant les périodes chaudes dans un climat chaud et sec. Les deux autres paramètres ; le type de vitrage et le système d'occultation intérieur ont un effet un peu marquant sur la diminution de la surchauffe de l'air intérieur pendant les moments chauds. Mais lorsque la dimension est importante (indice de vitrage 40% et plus) de la baie et quand cette dernière est donnée sur l'arc délimité entre les deux points : Sud-est et Ouest, l'effet de type de vitrage et le système d'occultation intérieur, sur l'optimisation et l'augmentation des conditions intérieures de confort thermique, reste négligeable. Cependant, ces deux éléments peuvent être des facteurs complémentaires à la conception des deux premiers. De même, la dimension et l'indice de l'ouverture vitrée percée dans la conformation architecturale sont reliés intimement à la surface du sol de l'espace. D'où, plus de rapport entre la surface percée dans le mur et la surface du sol du local est petite, plus le risque de la surchauffe est petit par la suite, les conditions du confort intérieures ont augmentes.

RECOMMANDATIONS :

1. Conception des immeubles de bureaux et l'architecte concepteur :

- Dans la conception des immeubles de bureaux dans ce contexte, prévoir des ouvertures vitrées au niveau des bureaux qui ont des dimensions appropriées à la surface de l'espace, permettent d'offrir de la lumière et de la ventilation. Et éviter de percer des baies de grande dimension sur la façade de bureau, surtout dans la zone de Sud-est à Sud-ouest.
- Utiliser des systèmes de protections des ouvertures vitrées de type extérieur modulable, permettant à l'usager de l'espace, une utilisation permanente selon les besoins et les conditions du climat extérieur.
- Aménager les baies sur la façade du bâtiment, de sorte qu'elles se positionnent dans l'épaisseur de mur avec une certaine profondeur (embrasure) ou avec un certain recul, afin de créer une zone d'ombrée sur les surfaces vitrées, et éviter les rayons solaires directs d'atteindre ces surfaces.
- Utiliser un type de vitrage au niveau des baies qui comporte des couches à basse émissivité, permettent de réduire les transmissions de la chaleur.
- Concevoir la façade de l'immeuble, selon la technique des couches successives, qui permettent aux baies et fenêtres, la protection du rayonnement solaire direct. (Voir l'exemple de la **Tour Agbar**).

2. Comité pédagogique universitaire :

- La nécessité d'ancrer dans la formation de l'étudiant, le rôle important de facteur climatique dans la conception et son effet sur les aspects de confort intérieur. Par conséquent, les inciter pour concevoir des projets qui répandent aux exigences climatiques dans ce contexte saharien.

- La nécessité d'enseigner aux futurs architectes, les méthodes d'évaluation environnementale et des aspects de confort à l'intérieur de leurs projets, par le biais des méthodes de simulations numériques et de BIM¹.
- Donner de l'importance aux valeurs de l'architecture et conception locale, et les différents enseignements et stratégies conceptuelles utilisées dans cette architecture, qu'on peut les tirer, pour concevoir des édifices bien adaptés au climat.
- Mettre à la disposition de l'étudiant un bon support en matière des livres et documents scientifiques, traitant la thématique de conception dans un milieu chaud et aride.
- Intensifier les séances de visites exploratoires, aux œuvres architecturales issues des époques précédentes et qui reflètent un bon exemple en matière de confort et d'intégration climatique.

3. CLOA de Béchar,

- Élargir le bagage scientifique architectural des architectes concepteurs, de point des vues des sens des concepts, les caractéristiques de nouveaux matériaux constructives et leurs effets sur les aspects de confort, et aussi, les traits essentiels de conception dans ce climat.
- Encourager et faciliter les voyages des architectes concepteurs, pour assister et participer dans les conférences et les séminaires nationaux et internationaux qui traitent la thématique des relations entre le climat, la conception de l'enveloppe architecturale et le confort intérieur.
- Enfin, créer un comité de conception, qui est pour rôle, l'évaluation et l'approbation des projets de concours d'architecture, et cela des points de vue ; le niveau d'insertion avec le contexte climatique local, les effets sur les conditions de confort intérieur et le degré de consommation et d'efficacité énergétique.

LES LIMITES DE RECHERCHE :

Cette recherche a été élaborée pour atteindre des objectifs spécifiques, qu'ont été saisis à la première étape, néanmoins, elle a été faite suivant des limites que sont les suivantes :

- Elle s'est penchée seulement sur l'étude du confort thermique à l'intérieur de l'espace de bureau, alors les autres types de confort cherchés, tels que lumineux et acoustique n'ont été pas traité.
- Elle a intéressé uniquement, sur l'effet des paramètres morphologiques de la baie sur les ambiances thermiques intérieures, alors l'effet des autres composants de l'enveloppe, tels que les parois verticales et horizontales, ne sont pas pris en compte.
- Au niveau de caractérisation de la dimension objective à l'intérieur des espaces bureaux, les mesures ont été prises en deux périodes ; en octobre et en janvier, alors cette évaluation objective, était pour la période de mi- saison et d'hiver, la période d'été n'a été pas analysée.
- Dans le calcul des coefficients de transmission thermiques des baies, deux composants ont été pris pour faire le calcul, le vitrage et la protection intérieurs, alors la transmission thermique à travers la menuiserie (structure métallique), est considérée la même que celle du vitrage.

¹C'est un processus des méthodes successives pour la conception et la construction des bâtiments, utilise comme des données, les objets composant le bâtiment et les relations entre eux. Il est pour but de faire une insertion bien intégrée du projet dans son environnement, en appuyant sur les maquettes numériques et les logiciels de BIM.

- Pour les mesures des paramètres thermiques intérieurs de l'environnement, trois paramètres ont été recueillis, la température de l'air, l'humidité relative et la température moyenne radiante, tandis que la vitesse de l'air n'a été pas mesurée.
- Dans le but de faciliter les calculs, le calcul de la température moyenne radiante, a été entamé par cette recherche, a été faite d'une manière où, on a considéré que l'occupant, se positionne au milieu de l'espace, alors en réalité le cas s'en diffère.

AXES DE RECHERCHES PERSPECTIVES :

À partir des limites de cette recherche et les traits de résultats trouvés, il est faisable d'ouvrir des pistes pour d'autres études futures, que sont :

- L'étude des aspects de confort lumineux et acoustique, à l'intérieur de ces immeubles de bureaux.
- Étudier l'apport des baies vitrées sur la consommation énergétique utilisées pour le refroidissement dans ces bâtiments.
- Étudier le rôle d'un système de protection solaire extérieur modulable, sur le changement des conditions de confort thermique, à l'intérieur de ces espaces.
- Faire une étude comparative du confort thermique à l'intérieur d'un immeuble de bureau contemporain et celui issu de l'époque coloniale ou postcoloniale, dans le même contexte.
- Étudier l'effet de pourcentage et le type d'hublot composés les ouvertures sur les ambiances thermiques, en prenant le cas du bâtiment URBAT et un des immeubles de bureaux étudiés ou un autre contemporain.
- Et pour une thématique qui traite l'identité et le style d'architecture local, il est possible de mettre dans à travers d'une recherche, la lumière sur l'apport de ce nouveau type d'architecture sur la mutation du caché architectural local ainsi les conséquences.

BIBLIOGRAPHIE.

1. Ouvrages :

Angers, Maurice. 2009. *Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines.* Alger : CASBAH université, 2009.

Badoux, J.-L, et al. 1996. *Architecture climatique équilibrée.* Lausanne : Office fédéral des questions conjoncturelles, 1996.

Capderou, Michel. 1985. *Atlas solaire de l'Algérie, Aspect énergétique.* Alger : Office des publications universitaires(OPU), 1985. Vol. 2.

Chevallier, Fabienne, Andrieux, Jean-Yves et Gallo, Emmanuelle. 2005. *La réception de l'architecture du Mouvement moderne : Image, usage, héritage.* s.l. : PU Saint-Etienne, 2005.

CNERIB. 1997. *Réglementation thermique des bâtiments d'habitation (DTR).* Alger : MINISTERE DE L'HABITAT, 1997.

Coursey, Samuel et Oliva, Jean-Pierre. 2006. *La conception bioclimatique : Des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation.* s.l. : Terre Vivante, 2006.

CSTC-Bruxelles. 1999. *Le verre et les produits verriers.* Bruxelles : CSTC.centre scientifique et technique de la construction, 1999.

Dhondt, Marina. 2013. *Qualité de l'air intérieur.* s.l. : Waterloo Kluwer, 2013.

DIB Nadia, Michèle et BEIS. 1993. *Recommandations architecturales.* Alger : ENAG(Entreprise Nationale d'Arts Graphics), 1993.

Fabbri, Kristian. 2015. *Indoor Thermal Comfort Perception A Questionnaire Approach Focusing.* Switzerland : Springer, 2015.

Fernandez, Pierre et Lavigne, Pierre. 2009. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondement et méthodes.* Paris : Le moniteur, 2009.

Garg, N.k. 2007. *Use of Glass in building.* s.l. : New ag international publishers, 2007.

Garreau, Gaël, Lezer, Aurélie et Peres, Patrick. 2009. *L'aménagement de l'espace de travail :entre théories et pratiques,.* s.l. : Université Paris, 2009.

Givoni, Baruch. 1998. *Climate consideration in building and urban design.* s.l. : INC, 1998.

Givoni, Baruch. 1978. *L'homme, l'architecture et le climat.* Paris : Moniteur, 1978.

Gratia, Elisabeth et De Herde, André. 2006. *Thermique des immeubles de bureaux.* s.l. : Presses universitaires de Louvain, 2006.

Hegger, Manfred, et al. 2011. *Construction et énergie Architecture et développement durable.* s.l. : PPUR Presses polytechniques, 2011.

Kalz, Doreen E et Pfafferott, Jens. 2014. *Thermal Comfort and Energy-Efficient Cooling of Nonresidential Buildings.* s.l. : Springer, 2014.

Kottas, Dimitris. 2013. *Architecture et construction : le verre.* s.l. : Links Books, 2013.

Kouzmine, Yaël. 2012. *le Sahara Algérien.* Paris : L'Harmattan, 2012.

La Roche, Pablo. 2012. *carbon-neutral architectural design.* s.l. : CRC Press.Taylor & Francis Group, 2012.

- Liébard, Alain et De Herde, André. 2005.** *Traite D'architecture et D'urbanisme Bioclimatiques*. Paris : le Moniteur, 2005.
- Mazouz, Said. 2014.** *Eléments de conception architecturale*. 5 éd. Algérie : Office de publications universitaires, 2014.
- Nasrollahi, Farshad. 2009.** *Climate and Energy Responsive Housing in Continental Climates*. s.l. : Universitätsverlag der TU Berlin, 2009.
- Parsons, Ken. 2002.** *Human Thermal Environments, Third Edition*. New York : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2002.
- Pélegrin-Genel, Elisabeth. 2006.** *25 Espaces de Bureaux*. Paris : Le Moniteur, 2006.
- Phillips, Derek. 2004.** *Daylighting: Natural Light in Architecture*. s.l. : Architectural Press, Elsevier, 2004.
- Reiter, Sigrid et DE Herde, André. 2004.** *L'éclairage naturel des bâtiments 1ère édition*. s.l. : Presses universitaires de Louvain, 2004.
- Roulet, Claude-Alain. 2012.** *Eco-confort : Pour une maison saine et à basse consommation d'énergie*. s.l. : PPUR, 2012.
- Roulet, Claude-Alain. 2004.** *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*. Lausanne (Suisse) : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.
- Sayigh, A, et al. 1998.** *Architecture: Comfort and Energy*. Oxford : Elsevier Science, 1998.
- Sayigh, A, Gallo, C et Sala, M. 1998.** *Architecture : Comfort and Energy*. Oxford : Elsevier Science, 1998.
- Schittich, Christian, et al. 2012.** *Construire en verre 2e édition* . s.l. : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 2012.
- Simon, Francy, et al. 2001.** *La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes*. s.l. : Université de Liège , 2001.
- Siret, Daniel et Harzallah, Amina. 2007.** *Architecture et contrôle de l'ensoleillement*. s.l. : CERMA - UMR CNRS 1563, 2007.
- Technique, Note d'information. 1999.** *Le verre et les produits verriers*. Bruxelles : CSTC. centre scientifique et technique de la construction, 1999.
- Trachte, Sophie. 2012.** *Matériau, matière d'architecture soutenable*. s.l. : Presses universitaires de Louvain, 2012.
- Weston, Richard. 2013.** *Les grandes idées qui ont révolutionné l'architecture*. s.l. : Dunod, 2013.
- Yao, Runming. 2013.** *Design and Management of Sustainable Built Environments*. London : Springer, 2013.
- Zürcher, Christoph et Frank, Thomas. 2014.** *Physique du bâtiment: Construction et énergie* . s.l. : vdf, 2014.

2. Articles de périodiques et congrès :

Abdou, S. Bellara Louafi et S. 2010. Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective. cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli, Constantine. *Sciences & Technologie*. Décembre 2010, 32, pp. 33-40.

Bouchahm, Guermia et Fatiha, Bourebia. 2010. l'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe a Constantine. *Sciences & Technologie*. juin 2010, 31, pp. 71-80.

Cantin, R, Moujalled, B et Guarracino, G. 2005. Complexité du confort thermique dans les bâtiments. 2005.

Djeradi, Mustapha Ameer. 2017. Les arcanes de la maison ksourienne entre signes et signifiants. *Archi-mag [en ligne]*. 15 02 2017.

Mokhtari, et al. 2008. Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Béchar. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2*. 2008, pp. 307 – 315.

Goswami, et al. 2009. *Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol.1-Vol.5) Solar Energy and Human Settlements*. Pékin, Chine : Springer, 2009.

SLAMA, Imène. 2014. Vécu et confort des usagers des immeubles de bureaux tunisiens contemporains : de la normalisation à la notion d'ambiance. *Psychologie du Travail et des Organisations*. 2014, Vol. 20, 3.

3. Thèses et mémoires :

Attia, Shady. 2012. *A Tool for Design Decision Making Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates*. Belgique : Thèse de doctorat: Architecture et urbanisme. Presses universitaires de Louvain, 115 p, 2012., 2012.

Batier, Cécile. 2016. *Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen*. France : Thèse de doctorat. architecture, génie civil et mécanique. Université de Montpellier, 286 p., 2016.

Belakehal, Azeddine. 2006. *Etude des aspects qualitatifs de l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec*. s.l. : Thèse de doctorat: Architecture. Biskra Université de Biskra, 390 p, 2006.

Bonte, Mathieu. 2014. *Influence du comportement de l'occupant sur la performance énergétique du bâtiment*. Toulouse, France : Thèse de doctorat. Génie civil et énergétique. L'université de Toulouse, 188 p., 2014.

Boulbin, Elphège. 2013. *HASSAN FATHY ET FRANCIS KÉRÉ. Architecture de terre crue, entre modernité et tradition en Afrique*. s.l. : Mémoire master Architecture, Université de bordeaux, 131 p., 2013.

Boutabba, Samir Djemoui. 2007. *CONFORT THERMIQUE URBAIN ENTRE MESURE ET PERCEPTION*. s.l. : Mémoire de magistère. Architecture. Université de Biskra, 391 p., 2007.

Elghawab, Mahmoud Mohamed. 2013. *Vers un confort thermique grâce à des concepts d'enveloppes de bâtiments, inspirés de la nature*. s.l. : Thèse de doctorat. Architecture. Université Aix-Marseille, 288 p., 2013.

Gonzalo, RODRIGUEZ. 2013. *Modélisation de la réponse de l'architecture au climat local.* s.l. : Thèse de doctorat: mécanique. France: l'université de Boreaux 1, 219 p., 2013.

Harijaona, Zaratiana. 2001. *Impact thermique des revêtements en bois sur l'ambiance intérieure des bâtiments.* s.l. : Thèse de doctorat :Mécanique Energétique Génie Civil et Acoustique:L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 275 p., 2001.

Kaboré, Madi. 2015. *Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne.* Grenoble : Thèse de doctorat.Génie civil et sciences de l'habitat. Université de Grenoble Alpes, 169 p., 2015.

Lawson, Latévi Florentin. 1991. *Evaluation du confort thermique dans l'habitat individuel à Ouagadougou.* s.l. : Mémoire Master d'ingénierie, 110 p., 1991.

Moujalled, Bassam. 2007. *Modélisation dynamique du confort thermique.* Lyon, France : Thèse de doctorat. Génie civil. L'institut des sciences appliquées de Lyon, 329 p., 2007.

Ould-Henia, Amine. 2003. *Choix climatiques et construction.Zones arides et semi arides. Maison à cour de Bou-Saada.* s.l. : Thèse de doctorat: Architecture. Ecole polytechnique Fédérale de Laussane.EPFL, 181 p., 2003.

4. Cours, dictionnaires et Sites web :

Alain, Rey, Danièle, Morvan et Gilles, Firmin. 2014. *Le Robert 2015.* Paris : Dictionnaires le Robert-Sejer, 2014.

Belakehal, Azeddine. 2012. *cours 2ème année, confort et maîtrise des ambiances.* s.l. : département d'architecture, université de biskra, 2012.

Builder, Design. 2014. *Le confort thermique à l'intérieur des bâtiments : la norme ASHRAE.* [En ligne] 02 2014. <http://www.designbuildermaroc.com>.

Choay, Françoise et Merlin, Pierre. 1998. *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement.* France : Presse Universitaire de France, 1998.

encyclo-birtanica. 2017. *encyclopédie britannica [en ligne].* [En ligne] 2017. [Citation : 17 02 2016.] www.britannica.com.

Lavenu, Mathilde et Mataouchek, Victorine. 2009. *dictionnaire d'architecture.* s.l. : Gisserot, 2009.

Mazouz, Said. 2014. *cours de post-graduation architecture, " Aspects énergétiques et bioclimatiques".* Biskra : Université de Biskra, Département d'architecture., 2014.

Pierrès, Cécile. 2014. *Agir contre l'inconfort en été, AI ENVIRONNEMENT.* [En ligne] 2014. www.youtube.com/watch?v=nn7laou-HKc.

Pierrès, Cécile. 2014. *les leviers de confort dans le batiment, AI ENVIRONNEMENT.* [En ligne] 02 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=SI5tP3QWPe4>.

UR "Architecture et climat", l'Université de Louvain. 2017. *L'enveloppe-les composants de l'enveloppe. Energieplus.* [En ligne] 2017. [Citation : 3, 4, 6 et 10 Février et Juillet 2016, 2017.] www.energieplus-lesite.be.

ANNEXES.

ANNEXE N° : 01**Formulaire de questions pour les usagers des bureaux****Etude du confort thermique dans les immeubles de bureaux contemporains**

Bonjour,

Cette enquête est s'inscrit dans le cadre de la préparation d'un mémoire de magister en architecture, sur le confort thermique dans les immeubles de bureau contemporains à Béchar. Elle a pour objectif, est de connaître vos perceptions par rapport à votre environnement thermique intérieur. Des mesures in situ complémentaires de température de l'air, de parois de l'humidité relative seront accompagné ce questionnaire.

Veuillez, s'il vous plait répondre aux questions énoncées dans ce questionnaire selon l'ordre dans lequel elles sont posées, avec une manière plus franche et plus honnête.

Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses; seules vos impressions nous sont importantes. Toutes vos réponses resteront strictement confidentielles et seront utilisées pour des buts de recherche.

Merci.

L'immeuble de bureaux :

Heure	
Date de réponse	

1/Les variables environnementales :

Type de bureau	<input type="checkbox"/> Individuel	<input type="checkbox"/> Partager avec des personnes	<input type="checkbox"/> Open space
Emplacement du bureau			
Orientation :			
Surface du vitrage dans le bureau			
Nombre de personnes au bureau			

2/Les variables socio-professionnelles,

Age Moins de 30 30-39 40-50 plus de 50 ans

Sexe Masculin Féminin

Profil Technique Comptabilité Administration
professionnel maintenance

combien d'heures par jour passez-vous
à votre bureau ? Moins de 4h/jour 4 à 6h/jour 7 à 8h/jour

Ancienneté dans le bureau Moins d'un an entre 1 et 5 ans plus de 5ans

3/.Les variables thermo-sensoriels:

2-Aimez-vous votre espace physique de bureau (forme, surface, vitrage, température, air,...)?

هل يعجبك الوسط الفيزيائي الداخلي الخاص بمكتبك

Oui Non

▪ dites pourquoi :

.....
Préférez-vous le changer ?

Oui Non

Si oui, préférez –vous changer l’espace bureau à un espace :

- Plus spacieux واسع
 plus aéré أكثر تهوية
 moins exposé au rayonnement solaire
 avec une dimension de fenêtre moins petite
 Changer son aménagement

Autres,.....

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

Extrêmement sensible حساس للغاية plutôt sensible حساس نوعا ما sensibilité normale حساسية طبيعية peu sensible غير حساس

4-Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid?

Extrêmement sensible plutôt sensible sensibilité normale peu sensible

5- Quel est le (ou les) facteur(s) le(s) plus défavorable(s) pour votre confort?

ما هو العامل أو العوامل المؤثرة على راحتك الحرارية؟

(Cochez autant que vous voulez)

	ETE	HIVER
Température	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Courants D’air	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humidité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Autres (spécifiez SVP) :

4/.Perception/Evaluation/préférence du climat thermique dans l’espace bureau :

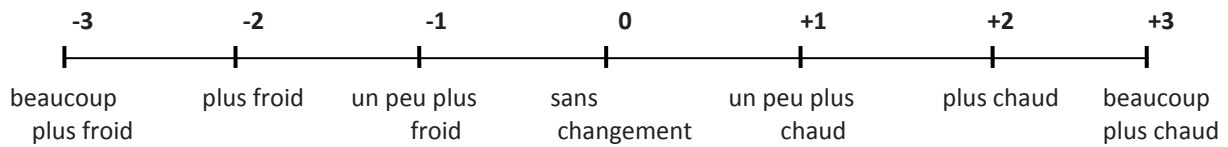
6- Comment vous sentez-vous à l’intérieur du bureau en journée d’Été ? : (placez un cercle sur l’axe)

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
très froid	Froid	légèrement	Neutre	légèrement	Chaud	très chaud
بارد كثيرا	بارد	froid		chaud	ساخن	ساخن كثيرا
		بارد قليلا		ساخن قليلا		

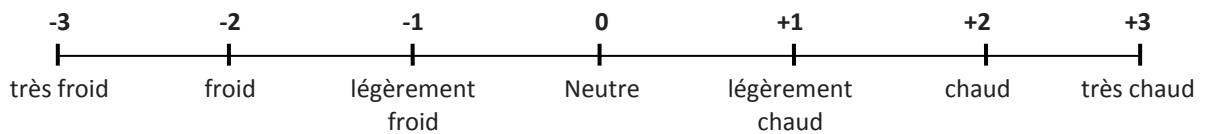
- Comment trouvez-vous cela?

confortable Légèrement inconfortable inconfortable très inconfortable

Préfériez-vous avoir en Été... ? (Le changement souhaité)؟ في فترة الصيف، ما التغيير الذي تفضله بالنسبة للحالة الموجودة ؟



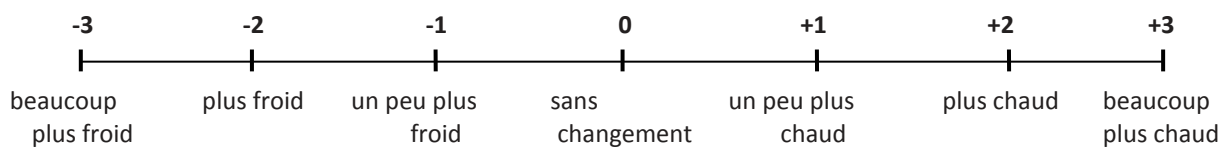
7- Comment vous –sentez vous à l'intérieur du bureau en journée d'Hiver? : (placez un cercle sur l'axe)



- Comment trouvez-vous cela?

confortable Légèrement inconfortable inconfortable très inconfortable

Préfériez-vous avoir en Hiver.... ? (Le changement souhaité) ؟ في فترة الشتاء، ما التغيير الذي تفضله بالنسبة للحالة الموجودة ؟



8-Comment qualifiez-vous le mouvement à l'intérieur du bureau ? (Veuillez entourer un numéro par ligne).

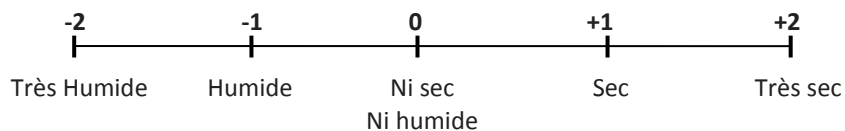
En Été

1	2	3	4	5
trop Calme هادئ كثيرا	Courants léger	modérer	Courants fort	Trop de courants d'air تيارات هواء كثيرة
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En Hiver

1	2	3	4	5
trop Calme هادئ كثيرا	Courants léger	modérer	Courant fort	Trop de courants d'air تيارات هواء كثيرة
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9- l'air dans votre bureau est :



5/.Baies vitrées et fenêtres :

10-Comment jugez-vous les dimensions de vos fenêtres?

Trop petites petites Adéquates larges Trop large

11-Est ce que le soleil pénètre à votre espace de bureau ?

Oui Non

Si oui, précisez le temps:

En Eté Matin Après midi
En Hiver

12-Est-ce que votre bureau devient plus chaud quand il y a du soleil à l'intérieur (tâche solaire chaudes)

Souvent Parfois Jamais

Si ça déjà produit, veuillez spécifier le temps:

En Eté Matin Après midi
En Hiver

13-Votre bureau dispose des rideaux ou stores de fenêtre ?

Oui Non

14-Lorsque vous tirez les rideaux, est ce que vous sentez un changement dans la température intérieur ?

beaucoup de changement Un peu changement aucun changement

15. est ce que ces (rideaux, stores) de la fenêtre vous protègent du chaleur ?

Ne protègent pas protège moyennement protègent efficacement

16. Quelles offres avantageuses donner vous la présence d'une baie vitrée dans le bureau (فتحات زجاجية)? (Classez de 1 à 5 du plus important vers le moins important).

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> indiquer le moment de la journée | <input type="checkbox"/> Fait éclairer le bureau |
| <input type="checkbox"/> Donner au bureau le caractère spacieux | <input type="checkbox"/> Apporter de l'énergie solaire chaude en hiver |
| <input type="checkbox"/> la vue sur l'extérieur | <input type="checkbox"/> Participe à notre repos |
| <input type="checkbox"/> Aération | <input type="checkbox"/> évacuer les odeurs |

17. Combien est-il important pour vous d'avoir des fenêtres/baies vitrées (فتحات زجاجية) dans votre bureau?

1 2 3 4 5
Pas important Peu important Assez important important Très important

6/.Ambiance globale:

17-Au niveau de votre environnement de travail, êtes vous satisfait de caractéristiques suivantes ?

	Très satisfait	satisfait	Indifférent	Un peu satisfait	Non satisfait
Fraîcheur /saison chaude برودة في الصيف	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleur en hiver دفئ في الشتاء	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dimensions des fenêtres	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eclairage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aération	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Surface, forme de bureau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aménagement (meuble, décor,..)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18- Quels sont les paramètres qui permettent rendre votre bureau reposant pour le travail ? (Classez de 1 à 5 du plus important vers le moins important)

- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Une jolie vue sur l'extérieur | <input type="checkbox"/> Température d'air confortable en été
درجة حرارة مريحة في الصيف | <input type="checkbox"/> Humidité d'air acceptable |
| <input type="checkbox"/> Bonne aération | <input type="checkbox"/> Température d'air confortable en hiver
درجة حرارة مريحة في الشتاء | <input type="checkbox"/> Décor et disposition du bureau agréables |
| <input type="checkbox"/> Calme | <input type="checkbox"/> lumière naturelle appropriée
إضاءة طبيعية مناسبة | <input type="checkbox"/> Espace vaste |

21-comment jugez-vous les conditions de la température à l'intérieur de votre Bureau ?

كيف تقيم الجو الحراري داخل مكتبك؟

	acceptable مقبول	Légèrement acceptable مقبول قليلا	Légèrement inacceptable مرفوض قليلا	inacceptable مرفوض
Eté	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hiver	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Êtes-vous gêné par le système de conditionnement d'air (climatisation) pendant toute la période chaude ?

- Oui Non

Si oui, dites comment ?

.....

7/.Contrôle individuel.

23-Dans le cas d'inconfort thermique, Indiquez comment vous vous comportez afin d'ajuster l'ambiance thermique ?

في حالة الإحساس بارتفاع حراري داخل مكتبك، حدد من بين الأعمال الآتية كيف تعدل راحتك الحرارية؟

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ouvrir, fermer une fenêtre | <input type="checkbox"/> Utiliser des rideaux ou stores |
| <input type="checkbox"/> Ouvrir, fermer une porte intérieure | <input type="checkbox"/> Mettre en marche le ventilateur |
| <input type="checkbox"/> Mettre en marche le chauffage | <input type="checkbox"/> Mettre en marche la climatisation |
| <input type="checkbox"/> Changer l'espace de travail (espace bureau)
(Sortir travailler hors de la salle bureau). | <input type="checkbox"/> Coller du papier sur le vitrage |
| <input type="checkbox"/> Changer le poste du travail (la table)
(Se déplacer vers une autre table). | <input type="checkbox"/> Voiler les rayons solaires directs avec un objet opaque غير شفاف (table, armoire,...) |

Autres (spécifiez

SVP) :

.....

24- Classez, par ordre de priorité, les actions suivantes, que vous paraissent importantes pour rendre agréable l'environnement thermique dans votre espace bureau?

(Classez de 1 à 5 de la plus importante vers la moins importante).

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ouvrir, fermer une fenêtre | <input type="checkbox"/> Utiliser des rideaux ou stores |
| <input type="checkbox"/> Ouvrir, fermer une porte intérieure | <input type="checkbox"/> Contrôler le fonctionnement d'un ventilateur |
| <input type="checkbox"/> Contrôler le fonctionnement du chauffage | <input type="checkbox"/> Contrôler le fonctionnement de la climatisation |
| <input type="checkbox"/> Changer l'espace de travail (espace bureau) | <input type="checkbox"/> Coller du papier sur le vitrage en voilant les rayons solaires directs. |
| <input type="checkbox"/> Changer le poste du travail (la table) | <input type="checkbox"/> Voiler les rayons solaires directs avec un objet opaque |

Autres (Spécifiez.....

25-D'après vous, quels sont les problèmes relatifs à l'environnement thermique de votre bureau ?

على حسب استعمالك للمجال، ماهي المشاكل المتعلقة بالجو الحراري داخل مجال مكتب عملك؟

.....

.....

Merci d'ajouter des commentaires ou des suggestions supplémentaires sur votre environnement thermique

intérieur ? إذا كانت لديك بعض الاقتراحات فيما يخص المجال الحراري الداخلي للمكتب، أذكرها

.....

.....

Merci beaucoup pour votre coopération.

ANNEXES N° 02 :

Analyse climatique de la ville de Béchar selon Les tables de Mahoney

Tableau1 : coordonnées géographiques

Location	Béchar (Chef lieu)
Latitude	31.6° N
Longitude	2.2° O
L'altitude	772 m

Tableau 2 : température :

Température	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mais	Juin	juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Temp moy Max	21,90	22,20	28,80	33,00	37,30	40,30	42,90	41,00	39,40	34,30	27,30	22,30
Temp moy Min	9,00	11,20	15,80	21,30	26,50	29,80	32,40	31,40	27,80	21,70	16,20	9,60
Ecart	12,30	12,29	12,40	12,20	12,30	12,60	12,40	12,70	11,70	12,00	11,60	12,20
					AMT (Tmax-Tmin)/2				AMT = 38,45			
					AMR (Tmax - Tmin)				AMR = 33,90			

Tableau 2 : Humidité :

Humidité	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mais	Juin	juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
HR Max	78,62	75,46	58,33	54,62	46,68	41,28	30,78	35,58	55,24	71,36	74,02	79,46
HR Min	32,24	29,44	22,53	20,54	16,84	14,72	12,08	14,36	24,02	31,92	34,76	36,1
HR Moy	54,66	50,4	39,26	35,34	29,42	25,72	19,58	23,34	37,38	49,7	53,32	58,04
Groupe d'humidité	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3

Humidité relative	Groupe d'humidité
HR < 30%	1
HR: 30-50%	2
HR: 50-70%	3
HR > 70%	4

Tableau 3 : Limite de confort :

groupe d'humidité	AMT>20°C				AMT: 15-20 °C				AMT> 15°C			
	confort jour		confort Nuit		confort jour		confort Nuit		confort jour		confort Nuit	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21
2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20
3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19
4	22	27	17	21	20	25	14	21	18	24	12	18

Tableau 4 : Diagnostic.

	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mais	Juin	juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec		
Groupe d'humidité	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3		
Temp Moy Max	21,90	22,20	28,80	33,00	37,30	40,30	42,90	41,00	39,40	34,30	27,30	22,30		
Confort de jour	Max	29	29	31	31	34	34	34	34	31	31	29	29	
	Min	23	23	25	25	26	26	26	26	25	25	23	23	
Stress de jour	C	C	O	H	H	H	H	H	H	H	O	C		
Temp Moy Min	9,00	11,20	15,80	21,30	26,50	29,80	32,40	31,40	27,80	21,70	16,20	9,60		
confort de nuit	Max	23	23	24	24	25	25	25	25	24	24	23	23	
	Min	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Stree de nuit	C	C	C	O	O	O	H	H	H	O	C	C		
			H : trop chaud			O: confort			C: trop froid					

Tableau 5 : Signification

	indicateur	Stress therm	Stress therm		Gr Humi	Ecart Mens	précip
			jour	nuit			
mouv d'air essentiel	H1	H		4			
		H		2, 3	< 10 °C		
mouv d'air désirable	H2	O		4			
protectio contre pluie	H3						> 200 mm
capacité thermique	A1			1, 2, 3	> 10 °C		
dormir sous étoiles	A2		H	1, 2			
		H	O	1, 2	> 10 °C		
protectio contre froid	A3	C					

Tableau 6: Indicateurs

		Jan	Fevr	Mars	Avril	Mais	Juin	juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Ecart menseul		12,3	12,29	12,4	12,2	12,3	12,6	12,4	12,7	11,7	12	11,6	12,2	
Hmudité														
ven essen	H1													
Ven désirab	H2													
prot pluie	H3													
aridité														
iner ther	A1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12
dormi dehor	A2					x	x	x	x	x				5
prob froid	A3	x	x										x	3

Tables 7 : Recommandations architecturales

H1	H2	H3	A1	A2	A3
			12	5	3

1. Plan masse

			0-10			Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.
			11 ou 12		5-12 0-4	Plans compacts avec cours intérieures

2. espacements entre bâtiments

11 ou 12						Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid
0 ou 1						Plans compacts

3. Circulation d'air

3-12						Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.
1 ou 2			0-5 6-12			
	2-12					Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
0	0 ou 1					Circulation d'air inutile

4. Dimensions des ouvertures

			0 ou 1		0 1-12	Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud.
			2-5			Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs
			6-10			Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.
			11 ou 12		0-3 4-1	Petites, 15 à 25% de la surface des murs.
						Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs.

5. Position des ouvertures

3-12						Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
1 ou 2			0-5 6-12			
	2-12					Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.
0	0 ou 1					

6. Protection des ouvertures

					0-2	Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12				Prévoir une protection contre la pluie

H1	H2	H3	A1	A2	A3
			12	5	3

7. Murs et planchers

			0-2			Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12			Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures

8. Toiture

10-12			0-2			Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.
			3-12				Légère et bien isolée
0-9			0-5			Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures
			6-12			

9. Espaces extérieurs

			1-12			Emplacement pour le sommeil en plein air
		1-12				Drainage approprié des eaux de pluie
		3-12				

ANNEXE N°03 :

Canevas de mesures des paramètres thermiques au niveau de trois bâtiments:

Bâtiment: Tourisme	Date de mesure: 16/10/2016	conditions du ciel: clair
--------------------	----------------------------	---------------------------

Bureau n°: 01		surf vitrée: 8,46 m ²			orient Baie: Sud-est						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	28,70	18,80	29,70	28,20	28,50	28,20	29,40	29,10	30,9	28,81	1,10	30,50	28,78
9h00	29,80	16,60	30,10	28,60	29,10	28,60	29,40	29,80	31,5	29,22	1,30	40,30	29,50
10h00	30,20	15,60	31,60	29,40	29,70	29,50	30,00	30,00	36,4	29,95	1,40	45,50	30,10
11h00	30,30	16,40	32,20	30,60	30,20	30,10	30,70	3,40	38,8	30,62	1,50	50,90	30,45
12h00	32,20	16,20	37,60	30,10	29,30	29,40	30,40	29,50	44,6	30,72	1,80	67,00	31,45
13h00	31,30	20,80	34,30	29,60	29,00	29,20	29,30	29,20	34,6	29,89	1,60	56,30	30,60
14h00	30,80	21,60	32,20	30,50	29,90	30,00	29,50	29,90	30,5	30,24	1,60	56,30	30,50
15h00	30,20	21,40	29,70	29,40	29,80	29,00	29,30	29,50	24,5	29,42	1,40	45,50	29,80
16h00	29,70	23,10	28,30	29,90	29,30	29,90	29,60	30,00	24,5	29,58	1,40	45,50	29,65
17h00	29,30	23,00	27,50	29,00	28,00	28,80	28,40	28,60	22,8	28,45	1,20	35,20	28,90

Bureau n°: 02		surf vitrée: 13,22 m ²			orient Baie: Sud-est						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	28,60	18,40	29,70	28,40	28,20	27,30	29,10	26,60	30,50	28,16	1,00	26,10	28,40
9h00	29,10	16,30	30,50	29,10	28,80	27,60	29,80	27,10	33,60	28,76	1,10	30,50	28,95
10h00	29,40	14,40	31,40	29,50	29,60	28,80	30,40	27,50	34,00	29,44	1,20	35,20	29,40
11h00	30,20	14,20	32,30	29,70	29,80	29,10	30,30	27,60	35,00	29,66	1,40	45,50	29,95
12h00	31,90	15,20	42,30	30,80	30,90	31,10	31,80	29,10	37,20	32,21	1,90	72,10	32,05
13h00	31,20	18,20	40,30	30,80	31,60	30,80	32,60	29,80	41,10	32,36	1,90	72,10	31,80
14h00	31,00	18,00	40,00	31,40	31,10	31,20	31,30	30,00	37,71	32,12	1,80	67,00	31,55
15h00	31,50	19,30	41,50	31,90	32,00	32,20	31,70	31,30	28,20	33,04	2,00	76,80	32,25
16h00	31,30	19,80	39,00	33,80	34,10	33,80	34,20	32,60	26,70	32,92	2,00	76,80	32,10
17h00	30,90	19,30	36,70	30,60	30,80	30,70	30,90	30,10	22,40	31,40	1,70	61,80	31,15

		Bureau n°: 03		surf vitrée: 2,63m ²			orient Baie: Sud-ouest						
		Valeurs de mesures thermo-hygrométriques									valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	27,80	18,80	25,40	26,90	26,80	26,40	27,20	27,80	20,70	26,91	0,70	15,30	27,35
9h00	28,20	17,20	25,70	27,10	27,20	26,90	27,50	28,00	21,20	27,22	0,80	18,50	27,70
10h00	28,60	15,70	26,10	27,80	27,80	27,30	28,00	28,20	21,60	27,72	0,90	22,10	28,15
11h00	28,90	16,20	27,20	27,80	27,30	27,30	28,10	28,20	26,50	27,71	1,00	26,10	28,30
12h00	29,00	16,90	31,30	26,70	26,50	26,80	26,90	27,30	30,20	27,00	0,90	22,10	28,00
13h00	29,80	20,40	34,50	26,80	26,40	26,20	26,40	26,20	33,60	26,79	1,00	26,10	28,30
14h00	29,50	21,40	35,70	27,70	27,70	27,10	29,00	27,70	45,30	28,11	1,10	30,50	28,80
15h00	29,50	21,10	39,70	28,30	28,60	26,70	29,80	28,60	43,80	28,79	1,20	35,20	29,15
16h00	29,20	21,40	30,40	28,40	28,90	27,70	28,90	28,30	28,20	28,49	1,10	30,50	28,85
17h00	29,00	21,70	27,40	27,20	27,00	27,90	27,90	27,60	23,30	27,47	1,00	26,10	28,25

		Bureau n°: 04		surf vitrée: 2,63m ²			orient Baie: Nord-est						
		Valeurs de mesures thermo-hygrométriques									valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	25,60	25,40	22,90	23,70	23,60	23,80	23,70	22,60	21,20	23,49	0,00	5,00	24,55
9h00	26,40	22,30	23,20	24,10	23,80	24,20	24,10	22,80	21,60	23,80	0,20	5,80	25,10
10h00	27,80	19,70	23,70	24,40	24,30	24,70	24,30	23,00	22,00	24,18	0,40	8,30	26,00
11h00	28,40	19,00	25,60	25,20	24,90	24,70	24,60	23,60	24,80	24,71	0,50	10,20	26,55
12h00	28,60	19,80	25,30	27,90	24,60	24,70	24,30	23,00	24,40	24,99	0,60	12,50	26,80
13h00	28,80	22,60	24,30	23,90	23,20	23,30	23,70	22,50	22,60	23,37	0,50	10,20	26,10
14h00	28,50	22,80	25,60	24,80	24,60	24,90	24,70	23,80	22,30	24,63	0,60	12,50	26,55
15h00	28,80	26,10	26,30	24,20	24,70	25,10	25,00	23,90	23,30	24,90	0,70	15,30	26,85
16h00	28,20	23,90	27,90	27,10	27,00	26,80	26,70	25,70	22,50	26,78	0,80	18,50	27,50
17h00	27,30	25,20	26,10	25,50	25,00	25,20	25,00	24,00	22,50	25,03	0,50	10,20	26,15

Bâtiment: Tourisme	Date de mesure: 23/01/2017	conditions du ciel: semi couvert
--------------------	----------------------------	----------------------------------

Bureau n°: 02		surf vitrée: 13,22m ²			orient Baie: Sud-est								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	14,80	36,50	16,87	12,67	13,43	12,70	13,20	13,10	18,60	13,42	-1,70	61,80	14,10
9h00	15,20	33,50	17,82	13,20	13,80	13,20	13,40	13,20	22,10	13,95	-1,60	56,30	14,60
10h00	17,50	27,80	24,13	15,20	16,72	16,83	17,60	16,72	31,10	17,70	-1,10	26,10	17,60
11h00	18,60	26,20	30,40	17,20	17,80	18,20	18,55	17,60	41,20	19,20	-0,80	18,50	18,90
12h00	20,80	23,30	36,05	18,15	19,20	18,55	19,47	18,48	37,40	21,09	-0,30	6,90	20,95
13h00	20,90	21,20	35,80	17,60	19,60	19,20	19,60	18,60	39,30	21,20	-0,30	6,90	21,50
14h00	19,60	22,90	33,40	16,60	18,38	18,04	19,22	18,12	31,20	20,21	-0,60	12,50	19,90
15h00	19,50	23,00	30,56	16,71	18,70	19,25	18,81	17,40	26,10	19,86	-0,60	12,50	19,70
16h00	19,00	22,10	28,25	17,61	17,93	18,38	18,50	17,22	19,60	19,24	-0,70	15,30	19,10
17h00	18,80	21,60	25,24	16,17	16,72	16,72	18,86	17,00	15,00	18,27	-0,80	18,50	18,55

Bureau n°: 03		surf vitrée: 2,63m ²			orient Baie: Sud-ouest								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	11,50	37,40	8,50	10,75	10,85	10,75	11,15	10,25	8,80	10,71	-2,2	84,90	11,85
9h00	12,80	34,70	9,90	11,10	11,20	11,00	11,69	10,69	9,00	11,08	-2	76,80	12,70
10h00	13,80	33,60	12,10	11,80	12,00	11,30	11,99	10,99	8,40	11,33	-1,9	72,10	13,55
11h00	14,20	30,60	13,30	11,50	11,60	11,00	11,49	10,39	13,60	11,66	-1,8	67,00	13,75
12h00	14,40	31,60	16,10	11,50	11,20	11,60	11,69	10,59	16,20	11,56	-1,8	67,00	13,80
13h00	14,60	29,70	21,40	11,60	11,50	11,30	12,20	10,90	31,00	11,90	-1,7	61,80	14,10
14h00	15,60	27,30	28,20	11,70	11,40	11,35	12,30	11,00	32,70	12,25	-1,6	56,30	14,80
15h00	15,40	27,00	25,00	11,70	11,50	11,40	12,20	11,20	35,10	12,15	-1,6	56,30	14,65
16h00	15,00	27,60	23,80	11,50	11,00	11,20	11,80	11,00	22,60	11,90	-1,7	61,80	14,30
17h00	14,60	31,60	18,50	11,90	10,70	10,90	11,39	10,49	17,60	11,80	-1,7	61,80	14,05

Bâtiment: DTP	Date de mesure: 16/10/2016	conditions du ciel: Dégagé
---------------	----------------------------	----------------------------

Bureau n°: 01		surf vitrée: 9,16m ²			orient Baie: Sud S-est						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	26,80	26,50	35,60	27,90	28,20	27,10	28,10	29,00	35,90	28,95	0,90	22,10	27,90
9h00	27,30	24,60	39,60	28,10	28,40	27,40	28,20	29,10	38,70	29,57	1,00	26,10	28,45
10h00	29,30	22,10	43,40	28,10	27,30	29,50	28,80	30,20	42,30	30,63	1,40	45,50	29,95
11h00	30,60	22,70	46,10	29,00	28,20	30,90	27,80	31,00	45,60	31,41	1,70	61,80	31,00
12h00	31,40	22,10	47,80	32,30	29,20	29,40	29,70	32,10	47,90	32,66	2,00	76,80	32,05
13h00	32,40	20,20	48,10	34,60	31,20	31,20	30,40	33,10	47,80	34,01	2,30	88,30	33,20
14h00	32,90	20,20	49,40	31,30	33,60	30,90	29,50	32,10	48,00	33,37	2,30	88,30	33,10
15h00	32,20	20,50	45,20	33,80	31,30	30,20	30,10	32,90	48,20	33,25	2,20	84,90	32,75
16h00	32,60	19,00	41,50	30,60	32,60	30,20	29,20	31,90	47,10	31,99	2,00	76,80	32,30
17h00	30,20	21,80	36,20	30,20	30,80	31,50	30,00	31,30	37,60	31,38	1,70	61,80	31,05

Bureau n°: 02		surf vitrée: 9,16m ²			orient Baie: Sud						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	26,60	25,50	33,30	27,50	28,20	28,10	28,00	28,40	34,40	28,95	0,80	18,50	27,70
9h00	27,60	22,70	34,80	27,70	28,50	28,30	28,30	28,60	39,90	29,57	1,00	26,10	28,40
10h00	29,10	21,30	36,60	28,00	29,70	29,70	29,70	29,70	37,10	30,63	1,30	40,30	29,70
11h00	30,30	21,10	43,60	28,60	30,30	31,90	29,60	30,90	44,40	31,41	1,70	61,80	30,85
12h00	31,50	21,70	47,50	30,00	32,20	33,50	29,70	32,00	53,60	32,66	2,00	76,80	32,10
13h00	32,30	20,50	49,10	32,70	34,40	36,30	35,30	34,10	54,10	33,37	2,20	84,90	32,85
14h00	32,80	20,50	48,50	31,40	34,70	33,60	30,20	33,00	49,90	34,01	2,40	91,10	33,40
15h00	32,30	17,50	49,30	33,10	34,10	34,60	30,50	35,00	50,10	32,25	2,00	76,80	32,30
16h00	31,50	19,70	45,30	33,60	32,90	31,70	29,60	33,10	46,80	31,50	1,90	72,10	32,10
17h00	31,70	17,80	42,70	32,90	33,30	35,80	30,70	33,30	42,30	31,38	1,80	67,00	31,50

Bureau n°: 05		surf vitrée: 1,70m ²			orient Baie: Sud-S ouest								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	25,80	30,40	33,20	26,40	26,20	25,80	26,00	26,10	33,20	26,28	0,40	8,30	26,05
9h00	26,70	29,50	36,20	26,50	26,30	25,80	26,00	26,20	30,40	26,41	0,60	12,50	26,55
10h00	28,10	21,80	38,90	25,20	25,80	25,70	25,90	26,30	43,10	26,01	0,70	15,30	27,05
11h00	28,90	21,00	37,40	26,20	25,80	26,00	27,40	26,60	45,00	26,67	0,90	22,10	27,80
12h00	29,20	20,70	37,50	26,60	26,20	26,50	27,20	26,80	42,40	26,92	0,90	22,10	28,05
13h00	30,00	20,10	38,60	27,20	26,90	26,90	26,90	26,90	37,30	27,24	1,10	30,50	28,60
14h00	29,50	20,80	32,20	27,50	26,80	26,70	26,80	26,70	32,40	27,08	1,00	26,10	28,30
15h00	29,90	19,70	30,30	26,70	26,10	26,20	26,60	26,40	31,50	26,53	1,00	26,10	28,20
16h00	28,90	22,30	28,00	26,20	25,10	24,60	25,00	25,10	27,40	25,37	0,70	15,30	27,15
17h00	29,10	21,40	27,70	26,90	26,40	26,40	26,30	26,40	27,30	26,55	0,90	22,10	24,85

Bureau n°: 06		surf vitrée: 1,70m ²			orient Baie: Est								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	25,80	25,40	36,60	25,90	25,70	26,00	26,10	25,60	37,70	26,12	0,40	8,30	25,95
9h00	26,40	23,50	39,40	26,10	25,80	26,00	26,20	25,90	39,90	26,32	0,50	10,20	26,35
10h00	26,70	25,40	35,20	25,70	25,60	25,00	24,70	24,70	40,20	25,57	0,50	10,20	26,15
11h00	28,40	22,70	34,40	23,40	23,80	23,60	23,40	25,60	38,80	24,75	0,60	12,50	26,60
12h00	29,20	20,00	33,30	24,60	24,90	24,10	24,70	24,40	34,40	25,57	0,80	18,50	27,40
13h00	28,20	23,50	29,10	24,60	24,70	24,40	24,50	23,90	29,80	24,54	0,50	10,20	26,35
14h00	27,20	23,30	26,10	22,60	23,60	23,50	23,40	23,30	27,20	24,17	0,30	6,90	25,50
15h00	27,00	21,50	25,90	22,70	23,20	23,50	23,50	23,70	27,90	23,31	0,20	5,80	25,15
16h00	26,70	28,30	25,70	23,90	22,90	22,80	23,70	23,30	26,60	23,34	0,20	5,80	25,00
17h00	26,30	23,00	28,10	25,90	24,80	25,50	25,10	26,20	29,90	23,40	0,10	5,20	24,85

Bureau n°: 07		surf vitrée: 1,70m ²			orient Baie: Ouest								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	25,50	29,60	22,10	24,60	24,60	24,30	24,60	24,90	22,20	23,02	0,00	5,00	24,25
9h00	26,30	27,70	23,00	24,80	24,80	24,40	24,70	25,00	23,20	23,22	0,10	5,20	24,75
10h00	26,30	25,90	22,40	23,00	23,50	22,70	23,40	23,40	22,60	23,59	0,20	5,80	24,95
11h00	26,40	26,70	24,20	23,20	23,90	23,30	23,60	23,80	24,80	23,63	0,20	5,80	25,00
12h00	27,30	25,00	24,40	23,30	23,10	22,20	23,80	22,60	25,20	23,73	0,30	6,90	25,50
13h00	27,00	24,60	27,00	23,50	23,90	23,10	23,50	24,10	27,60	24,10	0,30	6,90	25,50
14h00	26,90	23,10	28,00	23,70	23,70	22,90	23,90	23,20	28,50	24,53	0,30	6,90	25,55
15h00	26,60	23,60	33,70	23,80	23,90	23,70	23,60	24,30	33,80	24,54	0,30	6,90	25,70
16h00	27,00	23,70	41,30	23,90	24,40	23,80	24,30	24,00	42,50	24,70	0,40	8,30	25,55
17h00	28,00	23,30	39,50	26,20	25,10	24,90	25,00	25,00	39,60	25,51	0,60	12,50	25,85

Bâtiment: DTP **Date de mesure: 25/01/2017** **conditions du ciel: dégagé**

Bureau n°: 01		surf vitrée: 9,16m ²			orient Baie: Sud-S est								
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	15,4	28,6	25,7	19,2	15,9	16,1	16,6	18,4	33,2	18,34	-1,20	35,20	16,85
9h00	16,2	27,6	26,8	19,4	16,3	16,4	16,8	18,6	36,5	18,68	-1,10	30,50	17,45
10h00	17,6	24,4	34,2	19,9	16,6	16,9	17,4	18,9	42,8	19,94	-0,80	18,50	18,75
11h00	18,22	24,8	41	20,9	16	15,8	14,3	19,3	49,1	20,09	-0,70	15,30	19,15
12h00	19,4	20,9	44,6	23	18,3	18,4	16,8	22	53,8	21,68	-0,50	10,20	20,55
13h00	20,8	19,9	45,2	22,1	20,4	21,9	18,9	24,8	57,2	22,20	-0,30	6,90	21,50
14h00	20,2	19,5	44,5	20	21,2	24,5	16,7	22,6	52,3	22,65	-0,30	6,90	21,45
15h00	19,4	17,4	40	22,7	21,2	20,5	17,5	21,5	46,2	22,83	-0,40	8,30	21,10
16h00	19	15,6	35,7	22,8	20,9	21,6	18	21,5	42	22,62	-0,40	8,30	20,80
17h00	19	16,5	32,2	22,4	20,5	21,2	18,2	21,2	36,6	21,40	-0,60	12,50	20,20

Bureau n°: 03		surf vitrée: 9,16m ²		orient Baie: Sud-est		Valeurs de mesures thermo-hygrométriques					valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	15,9	28,4	30,6	19,1	19,7	21,8	12,1	19,6	40,6	19,85	-1	26,1	17,9
9h00	16,6	26,6	36,2	20,2	20,1	21,2	14,3	21,1	45,5	21,20	-0,8	18,5	18,9
10h00	17,7	23,8	39,1	19,9	20,3	21,7	14,9	21,9	49,6	22,07	-0,6	12,5	19,9
11h00	19,4	21,5	41,9	20,7	19,3	20	15,5	19,9	53,5	21,93	-0,4	8,3	20,65
12h00	19,6	21,3	43	20	21,3	21,2	15,4	21,7	51,5	22,59	-0,3	6,9	21,1
13h00	19,9	20,3	40,6	21	21,8	21,7	17	20,8	49	22,60	-0,3	6,9	21,25
14h00	19	19,3	34,5	20,7	20,3	19,7	15,7	20,2	40	21,22	-0,6	12,5	20,1
15h00	18,1	19,2	33,6	18,8	19,5	17,8	15,2	18,6	37	19,94	-0,8	18,5	19
16h00	17,7	18,2	30,1	18	18,1	17,2	15,6	17,7	23,4	18,93	-0,9	22,1	18,75
17h00	17,2	20,2	29,2	17,5	17,9	17	15,4	17,2	21,6	18,55	-1	26,1	17,9

Bureau n°: 04		surf vitrée: 9,16m ²		orient Baie: Sud-est		Valeurs de mesures thermo-hygrométriques					valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	15,8	29,3	30,2	15,8	15,4	20,8	15,5	18,7	33,1	18,61	-1,10	30,50	17,20
9h00	16,4	26,3	32,1	16,3	15,7	21,1	15,8	19,1	36,2	19,42	-1,00	26,10	17,90
10h00	17,2	24,9	35,5	16,8	16,3	21,3	16	19,4	39,6	20,11	-0,80	18,50	18,65
11h00	19,4	22,3	40,7	16,9	16,6	20,3	14,6	20,4	41	20,50	-0,60	12,50	19,95
12h00	19,6	20,6	40	17,6	20,8	17,9	15,4	20,1	41,5	20,66	-0,50	10,20	20,15
13h00	20,2	18,3	39,5	21,2	20,4	25,3	18,2	21,6	42,2	22,45	-0,30	6,90	21,45
14h00	19,00	20,4	33,7	16,9	20,8	19	16,3	19,5	37,7	20,06	-0,70	15,30	19,55
15h00	18,3	18,6	30	18,4	18,4	17,7	16,2	19	35,1	19,29	-0,80	18,50	18,80
16h00	17,6	18,8	27,4	20,4	18,5	17,7	16,4	19	29,5	19,40	-0,90	22,10	18,50
17h00	16,8	22,4	24,3	20,1	18,4	17,2	16,2	18,7	26,6	18,78	-1,00	26,10	17,85

Bâtiment: DUAC	Date de mesure: 18/10/2016	conditions du ciel: dégagé
----------------	----------------------------	----------------------------

Bureau n°: 01		surf vitrée: 6,30m ²			orient Baie: Sud S-ouest						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											PMV	PPD	TOP
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	27,20	24,50	33,20	26,20	25,00	26,20	26,30	25,90	33,60	26,45	0,60	12,50	26,85
9h00	27,70	22,70	36,40	26,50	25,30	26,70	26,80	26,10	37,00	27,00	0,70	15,30	27,35
10h00	27,90	24,70	36,50	27,00	26,40	26,20	27,00	28,20	37,30	27,67	0,90	22,10	27,80
11h00	28,50	24,80	33,90	26,00	26,80	26,10	26,50	28,00	39,40	27,15	0,90	22,10	27,85
12h00	28,70	25,00	39,00	27,80	28,30	28,20	27,00	29,70	41,70	28,92	1,10	30,50	28,80
13h00	29,70	23,60	41,70	29,50	29,70	29,70	28,10	30,60	43,30	29,21	1,30	40,30	29,45
14h00	29,90	24,30	36,20	28,80	28,80	29,00	26,60	30,30	42,30	30,35	1,50	50,90	30,15
15h00	30,10	23,60	36,80	28,90	28,70	28,40	26,70	29,50	40,20	30,50	1,50	50,90	30,30
16h00	29,80	23,90	30,40	28,30	28,00	27,70	27,10	28,60	37,40	29,40	1,40	45,50	29,60
17h00	29,20	24,60	29,80	28,00	27,70	27,40	27,00	28,30	34,60	28,86	1,30	35,20	29,55

Bureau n°: 02		surf vitrée: 6,10m ²			orient Baie: Est-S est						valeur des indices thermiques		
Valeurs de mesures thermo-hygrométriques											PMV	PPD	TOP
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	27,20	24,50	33,20	26,20	25,00	26,20	26,30	25,90	33,60	26,45	0,50	10,20	26,30
9h00	27,70	22,70	36,40	26,50	25,30	26,70	26,80	26,10	37,00	27,00	0,70	15,30	27,25
10h00	27,90	24,70	36,50	27,00	26,40	26,20	27,00	28,20	37,30	27,67	0,80	18,50	27,65
11h00	28,50	24,80	33,90	26,00	26,80	26,10	26,50	28,00	39,40	27,15	0,90	22,10	27,90
12h00	28,70	25,00	39,00	27,80	28,30	28,20	27,00	29,70	41,70	28,92	0,90	22,10	28,05
13h00	29,70	23,60	41,70	29,50	29,70	29,70	28,10	30,60	43,30	29,21	0,90	22,10	27,75
14h00	29,90	24,30	36,20	28,80	28,80	29,00	26,60	30,30	42,30	30,35	0,80	18,50	27,65
15h00	30,10	23,60	36,80	28,90	28,70	28,40	26,70	29,50	40,20	30,50	0,70	15,30	27,25
16h00	29,80	23,90	30,40	28,30	28,00	27,70	27,10	28,60	37,40	29,40	0,70	15,30	27,05
17h00	29,20	24,60	29,80	28,00	27,70	27,40	27,00	28,30	34,60	28,86	0,60	12,50	26,90

		Bureau n°: 03		surf vitrée: 20,80m ²			orient Baie: Sud						
		Valeurs de mesures thermo-hygrométriques									valeur des indices thermiques		
heures	T amb	H rel	T vit int	Tp1	Tp2	Tp3	T plnch	T plaf	T vitr ext	TR	PMV	PPD	TOP
8h00	26,40	27,30	30,20	26,40	27,20	26,80	27,20	27,30	29,30	27,55	0,70	15,30	27,00
9h00	27,10	25,60	33,60	27,70	27,70	27,10	27,50	28,20	31,20	28,63	0,90	22,10	27,85
10h00	27,60	25,40	33,40	27,10	26,80	26,60	27,10	27,60	32,10	28,08	1,00	26,10	28,20
11h00	27,90	24,40	34,40	26,20	26,00	26,10	26,70	27,50	33,90	28,82	1,00	26,10	28,35
12h00	28,10	24,20	35,80	27,70	27,60	27,40	27,80	28,60	36,00	29,12	1,10	30,50	28,60
13h00	29,20	23,80	39,30	29,30	29,00	28,90	27,80	30,70	41,50	31,31	1,50	50,90	30,25
14h00	30,20	23,60	41,90	27,90	28,40	27,00	28,60	31,50	43,60	31,50	1,70	61,80	30,85
15h00	30,60	22,40	40,60	28,70	30,80	27,80	29,70	32,40	41,70	32,40	1,80	67,00	31,50
16h00	29,80	24,90	35,50	28,80	29,90	27,60	30,20	32,60	38,20	31,20	1,60	56,30	30,50
17h00	29,60	25,20	31,60	28,20	28,50	27,20	29,70	30,35	33,50	29,76	1,40	45,50	29,75

ANNEXE N° : 04 :

L'énergie solaire incidente par heure sur le plan vertical selon l'orientation. (Données via d'Atlas solaire de l'Algérie)

Energie reçu sur le plan vertical SUD en Wh/m²

Mois	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	37	166	280	371	435	468	468	435	371	280	166	37	3514
	Glo G	53	236	397	531	627	677	677	627	531	397	236	53	5042
	Glo G *	67	289	474	623	729	784	784	729	623	474	289	67	5932

Energie reçu sur le plan Vertical SUD-OUEST en Wh/m²

Mois	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	0	0	0	7	115	264	398	500	557	550	445	133	2969
	Glo G	6	41	75	108	252	438	595	703	746	708	562	176	4410
	Glo G *	7	46	76	109	278	497	685	821	885	858	698	225	5185

Energie reçu sur le plan Vertical SUD-EST en Wh/m²

Mois	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	133	445	550	557	500	398	264	115	7	0	0	0	2969
	Glo G	176	562	708	746	703	595	438	252	108	75	41	6	4410
	Glo G *	225	698	858	885	821	685	497	278	109	76	46	7	5185

Energie reçu sur le plan Vertical OUEST en Wh/m²

Mois	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	0	0	0	0	0	0	95	273	416	497	463	152	1896
	Glo G	6	41	75	100	118	127	238	437	583	648	583	200	3156
	Glo G *	7	46	76	99	116	125	258	500	687	783	725	256	3678

Energie reçu sur le plan Vertical EST en Wh/m²

Mois	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	152	583	497	416	273	95	0	0	0	0	0	0	1896
	Glo G	200	583	648	583	437	238	127	118	100	75	41	6	3156
	Glo G *	256	583	783	687	500	258	125	116	99	76	46	7	3678

Energie reçu sur le plan Vertical NORD-OUEST en Wh/m²

	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	DireS	0	0	0	0	0	0	0	0	39	154	210	82	485
	Glo G	6	41	75	100	118	127	127	118	145	252	287	111	1507
	Glo G *	7	46	76	99	116	125	125	116	154	295	354	141	1654

Energie reçu sur le plan Vertical NORD-EST en Wh/m²

	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	82	210	154	39	0	0	0	0	0	0	0	0	485
	Glo G	111	287	252	145	118	127	127	118	100	75	41	6	1507
	Glo G *	141	354	295	154	116	125	125	116	99	76	46	7	1654

Energie reçu sur le plan Vertical NORD en Wh/m²

	type de rayonnement	tranche horaire												Total journée
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
octobre	Dire S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Glo G	6	41	75	100	118	127	127	118	100	75	41	6	934
	Glo G *	7	46	76	99	116	125	126	116	99	76	46	7	938

Légende :

- Dir S : rayonnement direct
- Glo G : rayonnement global (rayonnement direct + rayonnement diffus)
- Glo G * : rayonnement par jour clair.