



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider - Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Architecture  
Ref : .....

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

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

## Doctorat en Architecture

Spécialité : Architecture, environnement et patrimoine

---

# Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra

---

Présentée par :  
**BERKOUK Djihed**

Soutenue publiquement le 06 Juillet 2017

### Devant le jury composé de :

Pr. ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Université de Biskra	Président
Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Université d'Oum El Bouaghi	Rapporteur
Pr. BELAKEHAL Azeddine	Professeur	Université de Biskra	Examineur
Dr. SRITI Leila	M.C.A.	Université de Biskra	Examineur
Dr. HAMOUDA Abida	M.C.A.	Université de Batna	Examineur



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



Université Mohamed Khider - Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département d'Architecture  
Ref : .....



Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

## **Doctorat en Architecture**

Spécialité : Architecture, environnement et patrimoine

---

# **Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra**

---

Présentée par :  
**BERKOUK Djihed**

Soutenue publiquement le 06 Juillet 2017

**Devant le jury composé de :**

Pr. ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Université de Biskra	Président
Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Université d'Oum El Bouaghi	Rapporteur
Pr. BELAKEHAL Azeddine	Professeur	Université de Biskra	Examineur
Dr. SRITI Leila	M.C.A.	Université de Biskra	Examineur
Dr. HAMOUDA Abida	M.C.A.	Université de Batna	Examineur



# Remerciement

Tout d'abord, j'exprime mes vifs remerciements à mon directeur de thèse le Professeur **Said MAZOUZ**, à qui je présente tout ma gratitude pour les orientations et les conseils qu'il m'a donnés depuis le choix du thème, ainsi que pour sa disponibilité tout au long de la recherche et pour la confiance qu'il m'a accordée. Je lui en suis très reconnaissant.

Je tiens à remercier profondément les membres de jury :

- Monsieur Nouredine ZEMMOURI, Professeur à l'Université de Biskra, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de m'avoir honoré de présider le jury.
- Monsieur Azeddine BELAKEHAL, Professeur à l'Université de Biskra, qui m'a fait l'honneur d'examiner cette thèse et je lui en suis profondément reconnaissant.
- Madame Leila SRITI, maître de conférences à l'Université de Biskra, qui a acceptée d'être examinatrice, je la remercie très sincèrement.
- Madame Abida HAMOUDA, maître de conférences à l'Université de Batna, qui a acceptée à son tour d'examiner ce travail de recherche.

Je remercie très fort le Professeur Mekki MELLAS, Professeur Okba KEZZAR et le Professeur Abderrahmane BERKOUK pour leurs soutiens et leurs orientations notamment en méthodologie de recherche.

Je tiens à exprimer également ma profonde gratitude et mes remerciements aux enseignants du département d'architecture de l'Université de Biskra, notamment Madame Rachida DALI, Monsieur Toufik MEZERDI, Monsieur Mohamed Yassin SAADI et le Docteur Malik HOUDA qui m'ont soutenu et aidé durant cette période, ainsi que leurs conseils fructueux.

J'aimerais témoigner ma gratitude à mes collègues et amis pour leur aide tout au long de cette recherche, particulièrement, Monsieur Talal Abd El Karim BOUZIR pour son soutien moral et scientifique pendant notre parcours doctoral.

# Contributions personnelles et valorisation du travail de thèse

## Articles dans des revues internationales à comité de lecture

- D. Berkouk, S. Mazouz (2017)., Étude numérique de l'effet des dispositifs d'ombrage horizontaux sur la performance thermique des logements promotionnels : cas d'El-Alia-Biskra. Journal of Applied Engineering Science and Technology, 3(1): 21-27. **Available at:** <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/jaest/article/view/2122>.
- D. Berkouk, S. Mazouz., Étude expérimentale de l'impact de la température ambiante de l'air sur le niveau du confort thermique des occupants. Courrier du savoir, 23 : 173-182. **Available at:** <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/2205> .

## Communication orale avec résumé dans les actes et publication sur internet

- D. Berkouk, S. Mazouz (2016)., Using simulation for evaluating the indoor thermal comfort in the accommodation of the collective promotional residential buildings situated in a regions near Sahara with a hat arid desert: Application in the case of El-Alia-Biskra-. Xth International Congress on Renewable Energy and the Environment CERE, 23-25/03/2016, Sousse, Tunisia. **Available at:** [http://www.cere-tunisia.com/cere2016/Art\\_1.pdf](http://www.cere-tunisia.com/cere2016/Art_1.pdf).

## Communications affichées

- D. Berkouk, S. Mazouz (2016)., Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif. Les premières journées de BIM, 11/02/2016, Biskra, Algérie.

# Résumé

L'objectif principal de cette recherche consiste à évaluer le confort thermique et lumineux dans les logements collectifs sociaux et promotionnels dans la ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride. Il consiste à vérifier la place et la pertinence du confort thermique et lumineux des habitants, répondant d'abord aux normes minimales dans le logement social, et apportant, ensuite, une dimension supposée supérieure dans les logements collectifs de type promotionnel. À ce propos, une méthodologie de recherche basée sur les deux types du confort a été proposée pour cette étude. La première est une investigation subjective achevée à l'aide d'un questionnaire comme outil de recherche. Tandis que la deuxième est une expérimentation objective effectuée par l'utilisation de plusieurs simulations numériques à l'aide de deux logiciels : Radiance© et Daysim© comme outils d'évaluation de la performance de l'environnement lumineux, et du logiciel TRNSYS© comme outil d'évaluation du confort thermique des logements étudiés. L'analyse comparative entre les résultats de simulation et les résultats de l'enquête montre que ces deux types de logements collectifs produits dans le sud de l'Algérie qui suivent la tendance des villes du nord semblent inadaptés à la rudesse des régions sud, où l'enveloppe à doubles parois en briques creuses provoque un environnement thermique interne très sévère dans les logements collectifs promotionnels et sociaux situés dans ces régions arides. Ainsi à l'exception de l'utilisation d'appoints mécaniques pour le refroidissement durant la période estivale et pour le chauffage pendant la période hivernale, il n'existe pas d'autres solutions qui assurent le confort thermique dans ces deux types de logements. Cela est dû à l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ces deux types de logements. Par contre, l'analyse et l'interprétation des données illustrent également que ces logements rendent l'environnement lumineux optimal à l'intérieur, où les habitants se sentent dans un état confortable durant une très longue durée d'occupation diurne annuelle, d'où ils peuvent exécuter leurs tâches visuelles naturellement sans avoir recours à l'éclairage artificiel.

**Mots clés :** Confort thermique ; Confort lumineux ; Logement social ; Logement promotionnel ; Climat désertique.

## Abstract

The main objective of this research is to evaluate the thermal and luminous comfort in social and promotional housing estates in the city of Biskra, which is characterized by a hot and dry climate. It consist in verifying the place and the relevance of the thermal and luminous comfort of the inhabitants, answering at first the minimal standards in the social apartment, and then providing a dimension supposedly superior in promotional apartment. In this regard, a research methodology based on two comfort types was proposed for this study. The first is a subjective investigation achieved by using a questionnaire as a research tool. Whereas, the second is an objective experiment carried performed by the use of several numerical simulations by using two software: Radiance© and Daysim© as tools for evaluating the performance of the luminous environment and by using TRNSYS© software as a tool for assessment of the studied apartment thermal comfort. The comparative analysis between the simulation and survey results shows that these two types of collective apartment produced in southern Algeria that follow the northern cities trend appear to be unsuitable for the southern regions harshness, where the hollow brick wall envelope provokes a very severe indoor thermal environment in the promotional and social apartment located in these dry regions. Thus, with the exception of using mechanical supplements for cooling during the summer period and for heating throughout the winter period, there are no other solutions, which ensure thermal comfort in these two types of apartment. This is due to the total absence of the architectural devices of the windows, as well as the poor integration of thermal insulation systems in these two types of apartment. On the other hand, the analysis and interpretation of the data also illustrate that these apartment make the optimum indoor luminous environment, in which the inhabitants felt comfortable in a very long annual period of diurnal occupation, where they can perform their visual tasks naturally without resorting to artificial lighting.

**Key words:** Thermal comfort; Luminous comfort; Social apartment; Promotional apartment; Desert climate.

# Table des matières

Remerciement .....	4
Contributions personnelles et valorisation du travail de thèse .....	5
Résumé.....	6
Abstract .....	7
Table des matières.....	8
Liste des figures .....	11
Liste des tableaux .....	20
<b>Introduction générale (Préambule) .....</b>	<b>23</b>
<b>Chapitre 1: Aperçu sur le confort thermique des habitants .....</b>	<b>32</b>
Introduction.....	32
1.1. Confort thermique.....	32
1.2. Paramètres influant sur le confort thermique .....	34
1.2.1. Paramètres environnementaux.....	34
1.2.2. Paramètres personnels .....	41
1.3. Aspects du confort thermique .....	45
1.3.1. L'aspect physiologique (La thermorégulation).....	45
1.3.2. L'aspect physique (les échanges thermiques (corps/environnement).....	46
1.3.3. L'aspect psychologique du confort thermique (la sensation thermique).....	49
1.4. L'approche rationnelle «L'approche du bilan thermique» .....	49
1.5. L'approche adaptative .....	54
1.5.1. Catégories de l'approche adaptative .....	57
1.6. Évaluation du confort thermique .....	59
1.6.1. Indices d'évaluation du confort thermique.....	59
1.6.2. Diagramme bioclimatique de Givoni .....	62
Conclusion .....	64
<b>Chapitre 2: Lumière naturelle et confort lumineux.....</b>	<b>66</b>
Introduction.....	66
2.1. Confort lumineux et satisfaction visuelle .....	66
2.2. Lumière naturelle .....	68
2.3. Ergonomie visuelle .....	71
2.4. Tâche visuelle.....	71
2.5. Visibilité et performance visuelle.....	72

2.6.	Environnement lumineux.....	72
2.6.1.	Grandeurs photométriques.....	73
2.6.2.	Quantité de la lumière .....	77
2.6.3.	Uniformité de lumière.....	77
2.6.4.	Éblouissement et contraste.....	78
2.6.5.	Qualité de la lumière.....	80
2.7.	Œil et vision.....	81
2.8.	Indices d'évaluation du confort lumineux .....	83
2.8.1.	Indices d'évaluation de la quantité de lumière .....	85
2.8.2.	Indices d'évaluation de la répartition de la lumière .....	94
2.8.3.	Indices d'évaluation de l'éblouissement .....	94
2.8.4.	Indices d'évaluation de la qualité de la lumière .....	95
2.9.	Méthodes et outils d'évaluation du confort lumineux.....	96
	Conclusion .....	97
<b>Chapitre 3:</b>	<b>Présentation du cas d'étude et méthodologie de recherche .....</b>	<b>101</b>
	Introduction.....	101
3.1.	Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra.....	101
3.2.	Présentation du cas d'étude .....	103
3.2.1.	Le logement collectif social .....	104
3.2.2.	Le logement collectif promotionnel.....	104
3.3.	Cadre de la recherche .....	104
3.3.1.	Description des logements à étudier .....	106
3.4.	Caractéristiques corporelles des habitants de la ville de Biskra .....	113
3.4.1.	Caractéristiques corporelles des habitants .....	114
3.4.2.	Caractéristiques de l'échantillon .....	119
3.4.3.	Résultats et discussions.....	119
3.5.	Approche méthodologique .....	129
3.5.1.	Questionnaire .....	131
3.5.2.	Simulation .....	135
	Conclusion .....	137
<b>Chapitre 4:</b>	<b>Évaluation subjective du confort thermique et lumineux des logements collectifs .....</b>	<b>139</b>
	Introduction.....	139
4.1.	Caractéristiques personnelles des habitants .....	139
4.1.1.	Nombre de personnes par logement.....	143

4.2.	Avis de l'occupant sur son environnement physique.....	144
4.2.1.	La satisfaction envers la surface de la salle de séjours .....	144
4.2.2.	La satisfaction envers la taille des fenêtres.....	146
4.3.	L'effet du soleil (au niveau de la lumière naturelle et les rayonnements solaires) .....	147
4.3.1.	Distribution de la lumière.....	150
4.4.	Comportements des habitants (Human behaviors) .....	161
4.4.1.	Activité principale .....	161
4.4.2.	Type d'occultation .....	162
4.4.3.	Utilisation des énergies non renouvelables .....	163
4.5.	Evaluation subjective du confort thermique des habitants.....	170
4.5.1.	Période estivale .....	170
4.5.2.	Période hivernale.....	173
4.6.	Evaluation subjective du confort lumineux .....	177
4.6.1.	Période estivale .....	177
4.6.2.	Période hivernale.....	180
	Conclusion .....	184
	<b>Chapitre 5: Évaluation objective du confort thermique et lumineux des logements collectifs ..</b>	<b>186</b>
	Introduction.....	186
5.1.	Évaluation du confort thermique .....	186
5.1.1.	Température ambiante de l'air.....	186
5.1.2.	Température opérative.....	195
5.2.	Évaluation du confort lumineux.....	201
5.2.1.	Éclairage naturel utile (UDI).....	201
5.2.2.	Autre indices FLJ, DA , DAcon, DSP .....	208
5.3.	Validation expérimentale.....	215
	Conclusion .....	217
	<b>Conclusion générale et perspectives de recherche .....</b>	<b>219</b>
	Conclusion générale.....	219
	Perspectives de la recherche .....	220
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>222</b>
	Annexe A .....	246
	Annexe B .....	267
	Annexe C .....	280

# Liste des figures

Figure 0–1: Cartes des zones climatiques: (A) pour le chauffage; (B) pour le refroidissement (Ghedamsi et al. 2016) .....	24
Figure 1–1: Thermomètre globe (capteur du Testo 480) (Budiaková 2017) .....	37
Figure 1–2: Activités domestiques typiques (Mallick 1996) .....	42
Figure 1–3: Valeurs typiques du (clo) résidentiel (Mallick, 1996).....	43
Figure 1–4: Pourcentage de la couverture corporelle selon (ISO 9920): a) sous-pantalon, b) sous-chemises (maillot), c) vêtements de nuit (Fabbri 2015).....	44
Figure 1–5: Températures corporelles, effets de l'effort et de la chaleur (Candas 2000) .....	45
Figure 1–6: Situation de l'hypothalamus (Schulkin 2003 ; Law 2013) .....	46
Figure 1–7: Modes de transfert d'énergie thermique entre le corps et l'ambiance (Fiala et al. 1999) .....	47
Figure 1–8: L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement (Lin et Deng, 2008 ; Djongyang, Tchinda et Njomo 2010).....	48
Figure 1–9: (PPD) en fonction du (PMV) (Attia et Carlucci 2015) .....	53
Figure 1–10: La température du confort en fonction de la température extérieure (Humphreys 1978 ; Taleghani et al. 2013) .....	56
Figure 1–11: Méthode de processus hiérarchique analytique du confort thermique (Liu, Yao et McCloy 2012).....	57
Figure 1–12: Diagramme schématique du principe holistique des modèles adaptatifs (Croitoru et al. 2015).....	58
Figure 1–13: Tableau psychrométrique adapté de Givoni (Givoni 1992 ; Manzano-Agugliaro et al. 2015).....	63
Figure 2–1: Composants d'éclairage pour un simple espace (Mardaljevic 2012) .....	70
Figure 2–2: Représentation de l'éclairement, de la luminance et de l'intensité la luminance (Liébard et De Herde 2005) .....	73
Figure 2–3: Cartographie de la luminance (Hirning, Lim et Reimann 2016) .....	75
Figure 2–4: Représentation de l'intensité lumineuse (Liébard et De Herde 2005) .....	76
Figure 2–5: Vision binoculaire typique du champ de vision (Demers 1998) .....	82
Figure 2–6: Champ du vision: (a); (b); (c) (Demers 1998) .....	83

Figure 2–7: Classification chronologique d’élaboration des indices d’évaluation quantitative de la lumière naturelle (Source : Auteur) .....	86
Figure 2–8: Représentation du facteur de la lumière du jour (Eext, Eint) (Mardaljevic 2012)	86
Figure 2–9: Occurrence annuelle des paramètres UDI entre les heures de 09:00 et 18:00 pour les orientations nord et sud (Londres, Royaume-Uni, données climatiques) (Mardaljevic 2012) .....	93
Figure 2–10: Classification chronologique d’élaboration des indices d’évaluation de l’éblouissement (Source : Auteur) .....	95
Figure 2–11: Classification chronologique d’élaboration des indices d’évaluation qualitative de la lumière (Source : Auteur) .....	96
Figure 2–12: Image représentative d’une comparaison entre un modèle en échelle réelle et réduite (Thanachareonkit, Scartezini et Andersen 2005) .....	96
Figure 3–1: Situation de la ville de Biskra .....	102
Figure 3–2: Irradiation solaire annuelle dans le monde (Goussous, Siam et Alzoubi 2015) ..	102
Figure 3–3: Évolution annuelle de la température extérieure de Biskra .....	103
Figure 3–4: Précipitation annuelle de la ville de Biskra (Meteonorm7, no date) .....	103
Figure 3–5: vues satellitaires de chaque cité (Source : Auteur) .....	107
Figure 3–6: Plan des premiers étages des duplex des logements typiques de 110 P (Source : Auteur) .....	108
Figure 3–7: Plan des logements typiques de 40 P (Source : Auteur) .....	110
Figure 3–8: Plan des logements typiques de 50 P (Source : Auteur) .....	110
Figure 3–9: Plan des logements typiques de 80 S (Source : Auteur) .....	112
Figure 3–10: Plan des logements typiques de 90 S (Source : Auteur) .....	112
Figure 3–11: Plan des logements typiques de 220 S (Source : Auteur) .....	112
Figure 3–12: Laboratoire de la recherche (Salle de séjour) (Source : Auteur) .....	115
Figure 3–13: Processus du travail (Source : Auteur) .....	115
Figure 3–14: Méthode du travail et outil principal de la recherche (Source : Auteur) .....	116
Figure 3–15: Points de mesures (Source : Auteur) .....	117
Figure 3–16: Point de mesure de la température du noyau (Source : Auteur) .....	118
Figure 3–17: Température régionale de la peau en fonction de la température ambiante de l’air (Source : Auteur) .....	119

Figure 3–18: Corrélations entre la température de l’air et les différentes températures corporelles (température moyenne de la peau, température du noyau et température du corps) (Source : Auteur) .....	123
Figure 3–19: Pourcentage de vote actuel des participants par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique (Source : Auteur) .....	124
Figure 3–20: Variations du pourcentage de satisfaction en fonction de la température de l’air (Source : Auteur).....	125
Figure 3–21: Corrélacion entre le niveau de satisfaction et la température ambiante de l’air (Source : Auteur).....	126
Figure 3–22: Corrélacion entre le niveau de satisfaction et la température moyenne de la peau (Source : Auteur) .....	127
Figure 3–23: Corrélacion entre le niveau de satisfaction et la température du noyau (Source : Auteur) .....	128
Figure 3–24: Corrélacion entre le niveau de satisfaction et la température du corps (Source : Auteur) .....	128
Figure 3–25: Méthodologie de la recherche (Modèle conceptuel) (Source : Auteur).....	130
Figure 3–26: Processus du travail (Source : Auteur) .....	135
Figure 3–27: Scénario d’occupation (Source : Auteur) .....	136
Figure 4–1: Catégorie d’âges de l’échantillon (Source : Auteur) .....	140
Figure 4–2: Catégorie d’âge des habitants participants au questionnaire en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	140
Figure 4–3: Le genre de l’échantillon (Source : Auteur).....	141
Figure 4–4: Le genre de l’échantillon en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	141
Figure 4–5: Catégorie d’âge des habitants participants des logements promotionnels en fonction du sexe (Source : Auteur) .....	142
Figure 4–6: Catégorie d’âge des habitants participants des logements sociaux en fonction du sexe (Source : Auteur).....	142
Figure 4–7: Nombre de personnes par logement en fonction de chaque type d’habitation (Source : Auteur).....	144
Figure 4–8: Nombre de personnes par logement en fonction de chaque type cité (Source : Auteur) .....	144

Figure 4–9: Satisfaction des participants envers les surfaces des salles de séjour en fonction de type de logement (Source : Auteur) .....	145
Figure 4–10: Satisfaction des participants envers les surfaces des salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	145
Figure 4–11: Satisfaction des participants envers les dimensions des fenêtres des salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	147
Figure 4–12: Satisfaction des participants envers les dimensions des fenêtres des salles de séjour en fonction de chaque type d’habitation (Source : Auteur) .....	147
Figure 4–13: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle en fonction de type de logement (Source : Auteur).....	148
Figure 4–14: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	148
Figure 4–15: Durée de l’utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	149
Figure 4–16: Durée de l’utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	150
Figure 4–17: Avis des participants sur la distribution uniforme de la lumière naturelle en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	151
Figure 4–18: Avis des participants sur la distribution uniforme de la lumière naturelle en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	151
Figure 4–19: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle pendant la période estivale en fonction de type de logement (Source : Auteur) .....	152
Figure 4–20: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle pendant la estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	153
Figure 4–21: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle pendant la période hivernale en fonction de type de logement (Source : Auteur) .....	154
Figure 4–22: Durée de l’utilisation de la lumière naturelle pendant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	154
Figure 4–23: Satisfaction des participants envers l’effet global de la lumière naturelle dans les salles de séjour en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) ....	155
Figure 4–24: Satisfaction des participants envers l’effet global de la lumière naturelle dans les salles de séjour de chaque cité (Source : Auteur) .....	155

Figure 4–25: Satisfaction des participants envers l’effet global des rayonnements solaires dans les salles de séjour de chaque type d’habitation (Source : Auteur) .....	156
Figure 4–26: Satisfaction des participants envers l’effet global des rayonnements solaires dans les salles de séjour de chaque cité (Source : Auteur).....	157
Figure 4–27: L’inconfort thermique et les rayonnements solaires en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	157
Figure 4–28: L’inconfort thermique et les rayonnements solaires en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	158
Figure 4–29: L’inconfort lumineux dû à l’éblouissement en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	159
Figure 4–30: L’inconfort lumineux dû à l’éblouissement en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	159
Figure 4–31: L’inconfort lumineux dû au contraste en fonction de chaque type d’habitation (Source : Auteur).....	160
Figure 4–32: L’inconfort lumineux dû au contraste en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	160
Figure 4–33: Activité principale dans les salles de séjour en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	161
Figure 4–34: Activité principale dans les salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	162
Figure 4–35: Type d’occultation utilisé en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	163
Figure 4–36: Type d’occultation utilisé en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	163
Figure 4–37: Utilisation de système de refroidissement pendant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	164
Figure 4–38: Utilisation de système de refroidissement pendant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	164
Figure 4–39: Durée de l’utilisation de système de climatisation durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	165
Figure 4–40: Durée de l’utilisation de système de climatisation durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	166

Figure 4–41: Utilisation de système de chauffage pendant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	166
Figure 4–42: Utilisation de système de chauffage pendant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	167
Figure 4–43: Durée de l'utilisation de système du chauffage durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	168
Figure 4–44: Durée de l'utilisation de système du chauffage durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	168
Figure 4–45: Durée de l'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	169
Figure 4–46: Durée de l'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	169
Figure 4–47: Sensation thermique durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	170
Figure 4–48: Sensation thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	171
Figure 4–49: Niveau du confort thermique durant la période estivale en fonction de chaque de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	171
Figure 4–50: Niveau du confort thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	172
Figure 4–51: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque type d'habitation (Source : Auteur).....	172
Figure 4–52: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	172
Figure 4–53: Sensation thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	173
Figure 4–54: Sensation thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	174
Figure 4–55: Niveau du confort thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	175
Figure 4–56: Niveau du confort thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	175

Figure 4–57: L’environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	176
Figure 4–58: L’environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	176
Figure 4–59: Sensation lumineuse durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	177
Figure 4–60: Sensation lumineuse durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	178
Figure 4–61: Niveau du confort lumineux durant la période estivale en fonction de chaque de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	178
Figure 4–62: Niveau du confort lumineux durant la période estivale en fonction de chaque de chaque cité (Source : Auteur) .....	179
Figure 4–63: L’environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	179
Figure 4–64: L’environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	180
<i>Figure 4–65: Sensation lumineuse durant la période hivernale en fonction de chaque type du logement (Source : Auteur) .....</i>	<i>181</i>
<i>Figure 4–66: Sensation lumineuse durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....</i>	<i>181</i>
Figure 4–67: Niveau du confort lumineux durant la période hivernale en fonction de chaque de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	182
Figure 4–68: Niveau du confort lumineux durant la période hivernale en fonction de chaque de chaque cité (Source : Auteur) .....	182
Figure 4–69: L’environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	183
Figure 4–70: L’environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	183
Figure 5–1: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au RDC (Source : Auteur) .....	188
Figure 5–2: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au 1er étage (Source : Auteur).....	190

Figure 5–3: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au 2eme étage (Source : Auteur) .....	191
Figure 5–4: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au 3eme étage (Source : Auteur) .....	193
Figure 5–5: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au 4eme étage (Source : Auteur) .....	194
Figure 5–6: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au RDC (Source : Auteur) .....	196
Figure 5–7: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au 1er étage (Source : Auteur).....	197
Figure 5–8: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au 2eme étage (Source : Auteur) .....	198
Figure 5–9: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au 3eme étage (Source : Auteur) .....	199
Figure 5–10: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au 4eme étage (Source : Auteur) .....	200
Figure 5–11: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au RDC en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	202
Figure 5–12: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 1er étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	204
Figure 5–13: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 2eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	205
Figure 5–14: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 3eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	206
Figure 5–15: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 4eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	208
Figure 5–16: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au RDC en fonction de chaque cité (Source : Auteur).....	209
Figure 5–17: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 1er étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	210
Figure 5–18: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 2eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	211

Figure 5–19: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 3eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	213
Figure 5–20: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 4eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	214
Figure 5–21: Variations des zones du confort thermique et lumineux d’après l’évaluation objective et subjective en fonction de chaque cité (Source : Auteur) .....	215
Figure 5–22: Variations des zones du confort thermique et lumineux d’après l’évaluation objective et subjective en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur) .....	216

# Liste des tableaux

Tableau 1–1: Taux métaboliques des différentes activités (Auliciems et Szokolay 1997) .....	42
Tableau 1–2: Échelles de la sensation thermique (Moujalled 2007) .....	49
Tableau 1–3: Termes de l'équation générale des modèles adaptatifs (Attia et Carlucci 2015) .....	56
Tableau 1–4: Développement chronologique d'indices liés au confort thermique (Epstein et Moran 2006 ; Carlucci 2013 ; Taleghani et al. 2013 ; Castilla et al. 2014) .....	60
Tableau 1–5: Températures opératives recommandées pour les occupants, pour l'activité sédentaire basée sur l'ISO 7730-1984 (Taleghani et al. 2013).....	62
Tableau 1–6: Zones du confort intérieur du diagramme psychométrique (Castilla et al. 2014) .....	63
Tableau 2–1: Développement historique des indices liés au confort (Carlucci, Causone, et al. 2015) .....	85
Tableau 2–2: Tableau indicatif liant le facteur de lumière du jour avec les activités possibles (Roditi 2011) .....	88
Tableau 2–3: Limites d'éclairement pour l'UDI (Carlucci, Causone, et al. 2015) .....	92
Tableau 3–1: Présentation du cas d'étude (Source : Auteur).....	106
Tableau 3–2: Matériaux constituant l'enveloppe et leurs caractéristiques thermiques (Kadri et Mokhtari 2011) .....	108
Tableau 3–3: Codage des salles de séjour des logements promotionnels étudiées (Source : Auteur) .....	109
Tableau 3–4: Codage des salles de séjour des logements sociaux étudiées (Source : Auteur) .....	111
Tableau 3–5: Questionnements (Source : Auteur) .....	117
Tableau 3–6: Caractéristiques corporelles de l'échantillon (Source : Auteur) .....	119
Tableau 3–7: Matrix de corrélation de Pearson entre la température ambiante de l'air, la température moyenne de la peau, la température du noyau et la température du corps (Source : Auteur) .....	120
Tableau 3–8: Variation de l'énergie métabolique en fonction de la température ambiante de l'air (Source : Auteur).....	123

Tableau 3–9: Concepts, dimensions, composantes et questions des questionnaires (Source :  
Auteur) .....134

## **Introduction générale (Préambule)**

## **Introduction générale (Préambule)**

Le design d'un bâtiment chauffé, refroidi et éclairé naturellement en tenant compte de la performance énergétique est considéré comme le défi le plus important au niveau des bâtiments résidentiels, surtout que l'Algérie a été obligée de suivre dès le début de l'année 2016 une politique d'austérité due à la baisse de prix du pétrole brut.

En effet après plus d'un demi-siècle d'indépendance, l'Algérie a tenté plusieurs expériences afin d'apaiser la crise de l'habitat. Néanmoins, cette dernière persiste toujours, et ceci à cause de plusieurs facteurs ; à titre d'exemple nous pouvons citer : le rythme rapide de l'exode rural juste après l'indépendance et jusqu'aux années quatre-vingt-dix, ainsi que la croissance démographique trop élevée. Ces deux facteurs ont conduit l'État et les architectes à affronter cette crise par le recours à la production de logements collectifs afin de satisfaire les besoins quantitatifs des différentes couches sociales.

Ces couches sociales dans la société algérienne sont hiérarchisées à travers trois classes sociales, (i) la classe supérieure, (ii) la deuxième classe dite moyenne et (iii) une autre classe inférieure. Sachant que les deux dernières classes représentent la majorité de la population en Algérie. On peut identifier, comme dans la plupart des sociétés, trois classes dans la société algérienne : la supérieure, la moyenne et la plus laborieuse, située sur le palier inférieur et dont l'accès au logement demeure problématique. Les habitants appartenant à la classe supérieure peuvent accéder au logement individuel de type villa quant aux autres classes plusieurs formules semblent possibles. Dans le même ordre d'idée, l'État a donné au logement collectif plusieurs formules selon les catégories sociales, où le logement social collectif est destiné aux citoyens à faibles revenus. À ce sujet, certains auteurs assurent que ce type de logement collectif contient aujourd'hui pas mal de formules comme, le logement en accession aidée à la propriété « LAAP », le logement location-vente « AADL », le logement social participatif « LSP » et le logement social locatif « LSL »...etc (Dahmani et Moudjari 2013). Tandis que la formule du logement collectif promotionnel s'adresse aux personnes à moyens revenus c'est-à-dire pour la classe sociale moyenne.

Toujours en relation avec la politique de l'habitat en Algérie, on peut dire que malgré les efforts de l'État, la crise du logement reste toujours un vrai problème qui prend de l'ampleur, car la réalisation en masse des logements collectifs à travers tout le territoire

national demeure incapable de répondre aux demandes croissantes des citoyens. Cette situation de crise quantitative a engendré une crise de qualité environnementale interne du logement.

Dans cette perspective, l'occupant du logement collectif en Algérie, en particulier dans le sud du pays, cherche constamment à assurer ou à améliorer le confort de son logement par le recours aux systèmes mécaniques consommant des énergies non renouvelables : Suite à ce comportement, les bâtiments résidentiels sont devenus énergivores, conséquence de l'inadaptation de ce type d'habitation au climat chaud, voir la figure 0\_1. D'autre part, le niveau de confort demandé par les habitants des logements collectifs en Algérie continue d'augmenter sans que parallèlement la conception architecturale actuelle ne réponde aux nouveaux besoins de confort (Khoukhi et Fezzioui 2012).

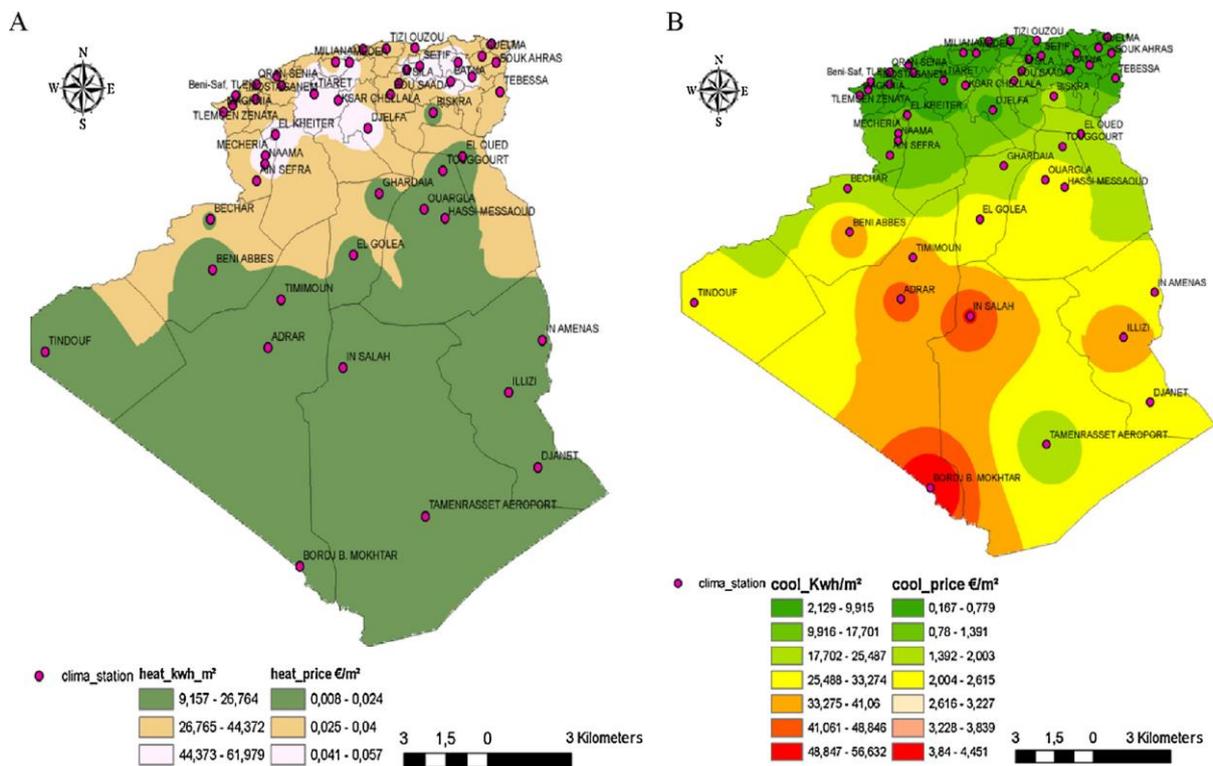


Figure 0-1: Cartes des zones climatiques: (A) pour le chauffage; (B) pour le refroidissement (Ghedamsi et al. 2016)

Et pour être plus clair, on peut dire que le problème n'est pas purement énergétique, mais surtout un problème de confort. Par ailleurs, nous pouvons affirmer que la recherche du confort n'est pas vraiment gratuite, car pour modifier les conditions ambiantes suivant nos convenances (Roditi 2011). En général, il faut que nous consommons de l'énergie, comme soulignent (Jannot et Djiako 1994). Ainsi, il est à noter que le confort thermique participe en

parallèle au processus de développement économique des occupants. Cependant, il faut signaler qu'un confort thermique et lumineux optimaux n'impliquent pas automatiquement une forte consommation énergétique (Semahi et Djebri 2013), puisque 35% de la consommation d'énergie finale de notre pays est à l'origine du secteur résidentiel, sachant que les besoins en matière de confort des habitants priment sur les exigences énergétiques. Néanmoins, et dans le but de réduire la consommation d'énergie et améliorer en même temps le confort de l'espace vécu, il suffit en premier lieu d'adopter une bonne gestion du gisement solaire par optimisation de l'espace baie, surtout que l'Algérie bénéficie de 2500 à 4000 heures de soleil par an dans tout point de notre pays (Belakehal et Tabet Aoul 2013), car le Sahara présente une aire des plus ensoleillées de la planète. Cette énergie fournie par le soleil est de caractère renouvelable par excellence. De cela, les architectes sont appelés à chercher à bien maîtriser toutes les zones tampons entre l'extérieur et l'intérieur des logements (fenêtre, loggia vitrée, véranda... etc.). Sachant que ces zones ont plusieurs fonctions contradictoires, comme ; la fourniture de lumière de jour, filtre de soleil et de la lumière, fourniture de la vue vers l'extérieur, fourniture de l'air naturel et filtre de son...etc. Au niveau physique de l'enveloppe, la façade doit contrôler et/ou admettre les différents éléments de l'environnement (chaleur, lumière, air... etc.) (Belakehal et Tabet Aoul 1996), afin d'assurer un environnement interne confortable. À ce titre, Oral et al. (2004) indiquent que les fonctions principales de l'enveloppe du bâtiment en ce qui concerne les facteurs environnementaux physiques (chaleur, lumière, son) sont conçues pour assurer :

- Le confort thermique en contrôlant l'influence des éléments climatiques ;
- Le confort lumineux en contrôlant la lumière naturelle ;
- Le confort acoustique en réduisant le bruit à un niveau acceptable. (Oral et al.2004)

À ce sujet, Roditi (2011) montre qu'il a été toujours difficile de répondre à toutes ces fonctions, mais l'éclairage naturel combiné à l'effet de serre est indissociable des espaces baies (Roditi 2011). À partir de cette idée, les architectes algériens sont appelés à réfléchir à la fois sur le confort thermique et lumineux dans les logements collectifs d'une manière passive sans que cela engendre une grande consommation d'énergie. Néanmoins, il est à noter que la recherche d'un environnement intérieur optimal sans compromettre le confort lumineux et thermique des occupants représente un défi réel dans de telles régions (Basurto et al. 2015).

Toujours dans le sens d'assurer le confort et minimiser, en même temps, la consommation énergétique, il est impératif la présence d'une intelligence des architectes dans le choix des matériaux de construction, ainsi que dans le contrôle des impacts de tous les éléments de l'enveloppe sur le confort thermique interne du logement. D'autre part, ils doivent connaître la qualité thermique de chaque isolant utilisé dans l'enveloppe du logement collectif afin d'améliorer le système d'isolation thermique, ceci au moins dans les logements collectifs promotionnels qui sont destinés aux couches à moyen revenu à des prix plus élevés par rapport aux logements collectifs sociaux destinés aux couches sociales à bas revenu.

Et malgré que l'enveloppe offre un apport solaire considérable pour l'habitat collectif, sous forme de réchauffement des parois, et d'éclairage naturel direct et indirect, l'architecture de l'habitat collectif contemporain en Algérie en général, a réduit cet espace tampon à une simple couverture qui rend l'ambiance intérieure du logement très sensible aux variations climatiques comme conséquence directe de la négligence de la qualité thermique des isolants.

À partir du constat ci-dessus et afin d'évaluer et de comparer le confort thermique et la qualité lumineuse interne des logements collectifs sociaux qui répondent aux normes strictes et minimales, avec les logements collectifs promotionnels qui ont une dimension supérieure de tous les types des logements collectifs en Algérie, il est impératif de soulever deux questionnements qui méritent des réponses et qu'on peut décrire comme la facette de notre problématique.

- Dans les logements collectifs sociaux, la qualité thermique et lumineuse des matériaux ainsi que tous les éléments constructifs de l'enveloppe sont-elles conçues pour un rendement efficace de leurs fonctions pour avoir un confort thermique et lumineux à l'intérieur ?
- Est-ce que l'amélioration quantitative et qualitative des espaces des logements collectifs promotionnels couvre aussi la qualité environnementale thermique et lumineuse interne plus que ceux des logements collectifs sociaux ? Ou bien, ces deux types de logements ont le même système d'isolation thermique et d'exploitation lumineuse ?

En fait, l'étude de la performance thermique et lumineuse des espaces architecturaux notamment dans les milieux résidentiels a fait l'objet de nombreux travaux dans la littérature scientifique. À titre d'exemple, on peut citer la thèse de doctorat présentée à l'université Claude Bernard Lyon 1 de Fernandez (2012) qui a traité la perception des environnements lumineux des espaces résidentiels (chambres d'hôtels), où cet auteur a étudié l'effet de l'éclairage, de l'usage et des caractéristiques individuelles sur le jugement d'appréciation en situation réelle (Fernandez 2012). À son tour, Haj Hussein (2012) a réalisé dans sa thèse une investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens afin d'obtenir le titre de docteur au niveau de l'université Bordeaux 1 (Haj Hussein 2012). En outre, Elghawaby (2013) a réalisé une thèse de doctorat au département d'architecture de l'université d'Aix-Marseille intitulée : vers un confort thermique grâce à de nouveaux concepts d'enveloppes de bâtiments, inspirés de la nature: le mur respirant comme un exemple biomimétique approprié aux bâtiments en zones chaudes (Elghawaby 2013). Dans la même perspective de notre travail, nous avons trouvé que Elaiab (2014) a présenté une thèse sur l'étude du confort thermique des bâtiments résidentiels à plusieurs étages dans le climat méditerranéen en référence à Darnah, en Libye, au département d'architecture de l'université de Nottingham (Elaiab 2014). De cela, nous pouvons déduire que le thème de cette recherche semble avoir donc attiré l'attention de plusieurs chercheurs dans le domaine de l'architecture et sa relation avec le confort de l'être humain dans le cadre bâti.

D'autre part, et pour essayer de répondre aux deux principaux questionnements énoncés dans cette étude, nous avons construit les deux hypothèses suivantes :

- L'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies dans les logements collectifs de l'habitat social de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ce type de logements, conduisent à une sensation d'inconfort thermique et lumineux des occupants de ces logements.
- Malgré l'amélioration quantitative et qualitative des espaces et des matériaux des logements collectifs promotionnels de la ville de Biskra, les habitants de ces logements ont la même sensation thermique et presque le même niveau du confort lumineux que les occupants des logements collectifs sociaux.

De cela, nous pouvons énoncer que l'objectif principal de cette recherche consiste à évaluer le confort thermique et lumineux du logement collectif de l'habitat social et promotionnel dans une région à climat chaud et aride comme celui de la ville de Biskra qui se caractérise par un ciel clair et ensoleillé presque pendant toute l'année, à l'aide d'une simulation informatisée. L'objectif étant de vérifier la place et la pertinence du confort thermique et lumineux, répondant d'abord aux normes minimales dans le logement social, et apportant, ensuite, une dimension supposée supérieure dans les logements collectifs de type promotionnel.

Dans le but de parvenir à l'objectif tracé, ce travail de recherche repose sur une approche comparative entre l'habitat collectif social et promotionnel, à partir d'une évaluation quantitative et qualitative, objective et subjective du confort thermique et lumineux.

Pour essayer de répondre à nos questionnements énoncés et de vérifier nos hypothèses, nous avons proposé une méthode de recherche basée sur les deux dimensions du confort suivantes : (i) la première est une recherche subjective achevée par un questionnaire comme outil de recherche. (ii) la deuxième est une expérimentation objective effectuée par des simulations informatisées à l'aide de deux logiciels Radiance© et Daysim© comme outils d'évaluation de la performance de l'environnement lumineux, et du logiciel TRNSYS© comme outil d'évaluation du confort thermique.

D'autre part, il est à noter que cette thèse est structurée en deux grandes parties qui s'agencent de la manière suivante : (i) la première repose sur une synthèse bibliographique, dite « revue de la littérature scientifique sur le thème de recherche », tandis que la seconde est plutôt pratique (étude de cas). Pour ce faire, ce manuscrit de thèse est divisé en cinq (5) chapitres qui couvrent les deux parties, portant sur l'évaluation du confort thermique et lumineux dans les milieux intérieurs des logements collectifs.

Le premier chapitre est dédié à l'acquisition des connaissances théoriques nécessaires sur le confort thermique des habitants. En premier lieu, nous avons défini ce terme, après nous avons traité les différents paramètres qui influent sur le confort des habitants. En troisième lieu, nous avons vu les différents aspects de ce type du confort. Ensuite, nous avons traité d'une manière détaillée les deux grandes approches du confort thermique qui sont (i)

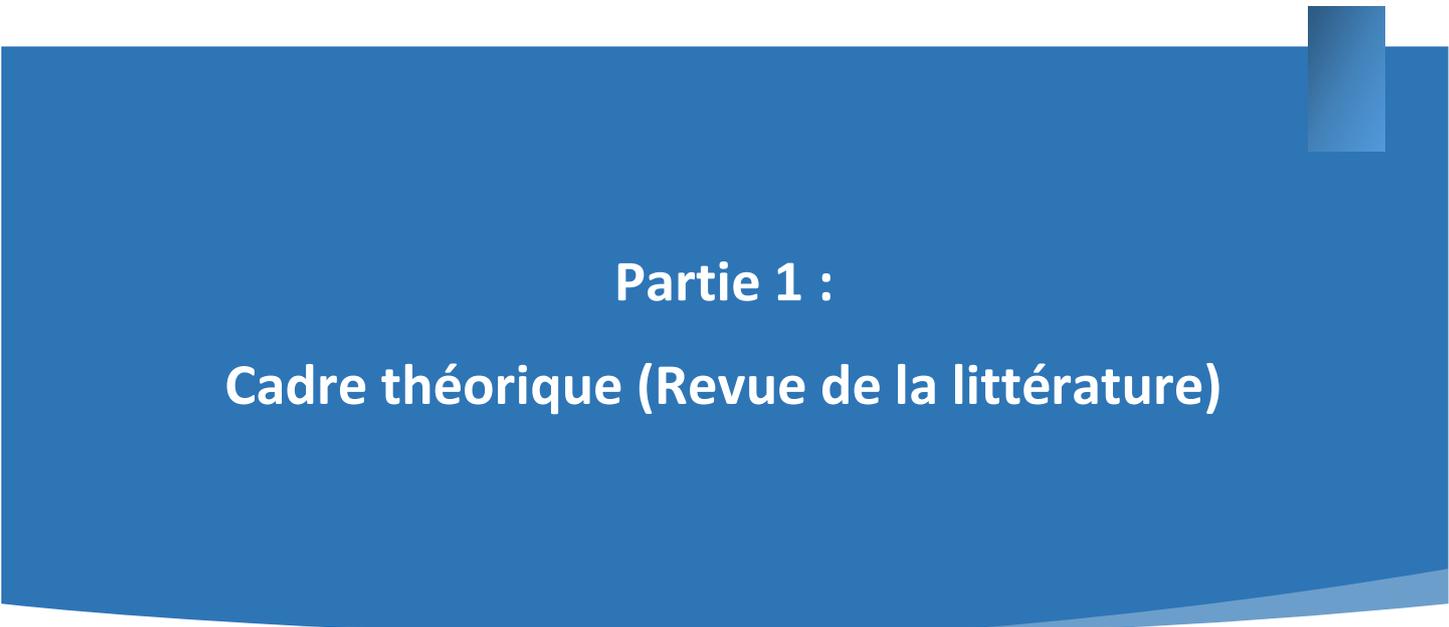
l'approche rationnelle et (ii) l'approche adaptative. Et comme le thème de notre recherche est basé sur une étude d'évaluation, nous avons présenté dans ce chapitre une classification chronologique des différents indices d'évaluation du confort thermique.

Dans le deuxième chapitre de ce manuscrit, nous avons mis en évidence l'importance du confort lumineux. Dans cette perspective, nous avons défini d'une manière globale le terme du confort lumineux et la satisfaction visuelle des habitants, la lumière naturelle, l'ergonomie visuelle, la tâche visuelle, la visibilité et la performance visuelle. Ensuite, nous avons examiné d'une manière détaillée les indices d'évaluation quantitative et qualitative du confort lumineux, les indices d'évaluation de la répartition de la lumière, les indices d'évaluation de l'éblouissement, les indices d'évaluation de la qualité de la lumière et à la fin de ce chapitre nous avons traité des méthodes et outils d'évaluation du confort lumineux disponibles dans la littérature scientifique en relation avec notre thème de recherche.

Dans la partie pratique nous avons réservé le troisième chapitre (i) à l'analyse des caractéristiques climatiques de la ville de Biskra, qui est le contexte de notre étude (ii) à la l'étude sur des caractéristiques corporelles des habitants de cette ville (échantillon de la recherche). D'autre part, nous avons présenté dans ce chapitre des définitions opérationnelles des logements collectifs sociaux et promotionnels (cas d'étude). Ensuite, nous avons déterminé le cadre de la recherche par le choix de l'espace le plus important dans les logements collectifs pour les habitants. À la fin de ce chapitre, nous avons présenté l'approche méthodologique adoptée pour cette étude, où nous avons énoncé les indicateurs utilisés dans l'expérimentation de cette recherche.

Enfin, nous avons exposé les résultats de la recherche avec une méthode comparative et interprétative dans les deux derniers chapitres. Nous avons présenté dans le quatrième chapitre les résultats d'investigation subjective sur le confort thermique et lumineux dans les logements collectifs sociaux et promotionnels. D'autre part, nous avons présenté dans le cinquième chapitre les résultats obtenus à partir de plusieurs simulations numériques des indices d'évaluations du confort thermique et lumineux et ceci afin d'évaluer objectivement le confort des habitants de ces deux types de logements.

Finalement, le travail est achevé par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus et par des perspectives de recherche.



**Partie 1 :**  
**Cadre théorique (Revue de la littérature)**

**Chapitre 1 :**  
**Aperçu sur le confort thermique des habitants**

# Chapitre 1: Aperçu sur le confort thermique des habitants

## Introduction

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous allons mettre en évidence d'une part, l'importance du confort thermique dans les milieux résidentiels et d'autre part, les méthodologies disponibles dans la littérature scientifique et la description des environnements thermiques.

À ce propos, nous allons en premier lieu définir ce terme, après nous allons traiter les différents paramètres influant sur le confort thermique des habitants. En troisième lieu, nous allons voir les différents aspects de ce type de confort. Ensuite, nous exposons d'une manière détaillée deux grandes approches du confort thermique qui sont (i) l'approche rationnelle et (ii) l'approche adaptative. Enfin, nous passerons à la classification chronologique des différents indices d'évaluation du confort thermique.

### 1.1. Confort thermique

Le confort thermique dans les environnements bâtis en général et plus précisément dans les environnements internes des logements collectifs est devenu une question quotidienne pour les architectes et les techniciens, ce qui a engendré de larges études dans la littérature scientifique, comme l'attestent Rizzo et al. (2004). Ce vieux concept a été discuté depuis les années 1930 (Taleghani et al. 2013), mais avant que nous abordions ce concept du confort thermique en général, il est impératif qu'il soit clairement défini, afin de pouvoir l'évaluer dans la présente recherche. À ce titre, plusieurs pistes de réflexion ont été menées par la littérature scientifique afin de pouvoir définir le confort thermique d'une manière bien précise. Conformément aux normes internationales (ASHRAE55 1992 ; ISO7730 1994), les chercheurs ont généralement défini ce concept comme la condition de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique (Fanger 1973 ; Hensen 1990 ; Castilla et al. 2014). De même, Prakash et Ravikumar (2015) sont arrivés à définir cette notion comme l'état de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique (Prakash et Ravikumar 2015). En effet, ces deux citations illustrent l'idée selon laquelle le confort thermique reste un

aspect essentiel concernant la satisfaction des occupants envers leur environnement (Schellen et al. 2012).

En outre, on trouve ainsi que d'autres chercheurs définissent le confort thermique d'une manière un peu différente. À titre d'exemple, Hensen (1991) signale que le confort thermique est un état dans lequel il n'y a pas d'impulsions qui conduit à corriger l'environnement de l'occupant par son comportement (Hensen 1991). D'autre part, Fabbri (2015) souligne de son côté que le confort thermique peut être défini comme le résultat d'un processus dû à des échanges au niveau de la masse d'énergie entre l'occupant et son environnement (Fabbri 2015). Il ajoute également que l'Organisation Mondiale de la Santé WHO/OMS (1999) a reliée la définition du confort avec le concept de la santé, cette dernière est définie comme un état global du bien-être physique, mental et social de l'occupant, et non seulement dans l'absence des maladies ou de l'infirmité (WHO 1999). Dans le même ordre d'idées, Prakash et Ravikumar (2015) ont ajouté que le confort thermique est un facteur impératif qui détermine la santé et la productivité des occupants des immeubles d'habitation (Prakash et Ravikumar 2015). Par ailleurs, Nematchoua et al. (2014) confirme que le confort thermique est défini comme la situation dans laquelle une personne ne sent ni froid ni chaud, dans une atmosphère donnée (Nematchoua et al. 2014). La définition du confort thermique d'après cette piste de réflexion a été prolongée par Attia et Carlucci (2015) qui ont défini ce concept avec un peu plus de précision, pour eux le confort thermique est généralement utilisé pour indiquer si l'occupant ne sent ni trop froid, ni trop chaud par rapport à son environnement thermique (Attia et Carlucci 2015).

Finalement, nous pouvons déduire que le confort thermique qui est l'état de satisfaction du corps vis-à-vis de son environnement thermique est un paramètre clé, objectif et subjectif pour un milieu résidentiel sain et productif. Nous pouvons ajouter également que l'état de confort de l'habitant envers ces environnements thermiques dépend de l'interaction entre de multiples facteurs physiques, physiologiques et psychologiques.

## 1.2. Paramètres influant sur le confort thermique

Depuis longtemps, Macpherson (1962) et Tham (1993) déclarent que le confort thermique d'une personne dans une certaine ambiance donnée dépend des six paramètres suivants :

- La température de l'air ( $T_a$ ) ;
- L'humidité de l'air ( $R_h$ ) ;
- La vitesse relative de l'air ( $v$ ) ;
- La température radiante moyenne (la température moyenne des parois) ( $T_r$ ) ;
- Le métabolisme ( $M$ ) ;
- La résistance thermique des vêtements ( $I_{cl}$ ). (Macpherson 1962 ; Tham 1993)

À ce sujet, Jannot et Djiako (1994) montrent que parmi ces paramètres qui sont des indicateurs d'évaluation de la qualité thermique d'une ambiance donnée, comme la température, l'humidité de l'air, la vitesse relative de l'air et la température radiante moyenne des parois, sont généralement utilisés afin de déterminer la sensation thermique d'une personne avec des caractéristiques de métabolisme données selon son activité physique et une certaine résistance thermique de ses vêtements (Jannot et Djiako 1994). De leur côté, Azizpour et al. (2013) ont déclaré qu'il existe des paramètres environnementaux et d'autres paramètres personnels influant sur le confort thermique (Azizpour et al. 2013).

Dans le même sujet, Lin et Deng (2008) soulignent que Macpherson (1962) a classé ces six facteurs en quatre variables physiques (la température de l'air, la vitesse de l'air, l'humidité relative, la température radiante moyenne) (Fanger 1970 ; Gagge et al. 1986 ; Hensen 1990), tandis que la résistance thermique de vêtements (habillement) et le niveau d'activité, c'est-à-dire le taux du métabolique sont des variables personnelles. Néanmoins, il faut noter qu'il y a d'autres paramètres personnels qui ont un grand impact sur le niveau du confort thermique de l'habitant, comme l'impact du genre et du poids...etc.

### 1.2.1. Paramètres environnementaux

La qualité de l'environnement interne comme le soutiennent Volkov et al. (2014) a une forte relation avec les conditions thermiques de l'espace (Volkov et al. 2014). Parmi ces conditions thermiques qui sont en relation à l'environnement thermique des logements, et

qu'on peut décrire comme les paramètres environnementaux du confort thermique, car elles influent fortement sur l'équilibre thermique du corps de l'habitant. D'autre part, ces conceptions thermiques sont dues également à d'autres paramètres personnels. Cependant, la sensation thermique acceptable est fortement affectée par les facteurs environnementaux, comme soulignent (Sadafi et al. 2011).

### **1.2.1.1. Température ambiante de l'air ( $T_a$ )**

La température ambiante de l'air est le paramètre le plus influant sur la sensation thermique de l'habitant bien qu'il existe pas mal de paramètres qui ont également des impacts considérables sur la sensation thermique. Néanmoins, ils sont restés toujours tournent autour de la température ambiante de l'air. À ce sujet, Gagge et al. (1986), Hensen (1990) et Auliciems et Szokolay (1997) soulignent que la température est le paramètre environnemental le plus important en ce qui concerne le confort thermique (Gagge et al. 1986 ; Hensen 1990 ; Auliciems et Szokolay 1997).

En fait, si le degré de la température ambiante de l'air dans le logement est plus élevé que le degré de la température de la peau de l'habitant, la température émise par le corps de celui-ci rencontre des difficultés dans sa transpiration vers l'extérieur. Cette situation pose le problème de l'augmentation du degré de la température de la peau ainsi qu'elle provoque l'apparition de taches mouillées sur la peau ou sur les vêtements de l'occupant. Ces taches mouillées sont dues à l'activité rapide des glandes qui provoquent la sécrétion de sueur.

Cependant, dans le cas d'une décroissance remarquable de la température ambiante de l'air du logement en dessous des degrés agréables :  $22^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 28^{\circ}\text{C}$  (Capderou 1986 ; Berghout et al. 2014), ou  $30^{\circ}\text{C} < T_a < 18^{\circ}\text{C}$  (Khoukhi et Fezzioui 2012), la première réaction physiologique dans cette situation serait la contraction des capillaires sous la peau qui donne une impulsion du sang au niveau de la peau de l'habitant. Cette situation donne une sensation de froid de la peau, surtout au niveau des pieds et des doigts. De cela, nous allons traiter ces phénomènes physiologiques qui influent sur la température ambiante de l'air dans les prochains axes de ce chapitre.

D'autre part, il est à noter que l'augmentation de la température ambiante de l'air interne des espaces résidentiels à une forte relation avec la température de l'air externe. Dans le même ordre d'idée, Izard et Millet (1993) confirment que la température de l'air extérieur

varie quotidiennement d'un degré maximal de la température en milieu d'après-midi à un degré minimal pendant le matin et avant le lever du soleil (Izard et Millet 1993). En effet, ces variations de la température extérieure influent négativement sur la température de l'air intérieur, si le logement n'est pas bien isolé. Par conséquent, l'état inconfortable de l'habitant le pousse à chercher d'autres solutions pour assurer son confort. Ces variations peuvent devenir une source d'influence négative sur la température radiante moyenne des parois.

### **1.2.1.2. Température moyenne radiante des parois ( $T_p$ )**

Avant de traiter la température radiante moyenne des parois et leur impact sur le confort thermique des habitants, l'exemple suivant nous permet de bien comprendre l'effet thermique par rayonnement : généralement, l'exposition de la peau du corps humain aux rayonnements chauds influe sur le gain de chaleur de la peau de l'occupant par rayonnement. De plus, si on éteint les spots de la température ambiante de l'air, on peut dire que l'habitant pourrait arriver à un état plus confortable thermiquement à partir d'une simple exposition de son corps aux rayonnements solaires directs pendant la période hivernale, malgré la baisse du degré de la température ambiante de l'air. En fait, cette dimension est particulièrement importante au niveau des espaces extérieurs et semi-extérieurs comme les loggias par exemple. Pour plus d'informations à ce sujet, revenir à l'étude de Kántor et Unger (2011).

Néanmoins, l'importance de cette dimension diminue dans les espaces intérieurs (séjour, chambre...etc.), où les taches solaires ont de très petites surfaces en comparaison à la surface totale de la pièce, qui varie selon le temps. Du point de vue physique, il faut indiquer que tout corps qui réserve une quantité de chaleur peut être considéré comme source d'émission de la chaleur par rayonnement aux autres corps qui se caractérisent par un degré de température plus moins que ce corps émetteur. Dans cette perspective, ces deux corps (l'émetteur et le récepteur) doivent être séparés par un vide, comme l'air ou bien par un espace transparent, comme le vitrage par exemple.

À ce propos, Beckey (1992) a noté que la température radiante moyenne indique l'effet combiné de toutes les températures surfaciques dans une chambre, où ces facteurs influent sur le gain (et/ou) la perte de la chaleur des habitants (Beckey 1992). C'est pour cela que les rayonnements ont un impact considérable sur la sensation thermique des occupants. En effet, bien qu'il est difficile de mesurer directement la température radiante moyenne, on trouve

dans la littérature scientifique que les chercheurs ont souvent utilisé le thermomètre du globe afin d'évaluer l'impact de la température radiante sur le niveau du confort des habitants. Ce thermomètre globe est une sphère de cuivre noir, habituellement de 150 mm de diamètre, avec un thermomètre situé au centre, ce thermomètre est présenté dans la figure 1\_1. En outre, et pour l'utilisation correcte de ce thermomètre, on peut déduire d'après les résultats de plusieurs études antérieures qu'après une durée de 10 à 15 minutes de positionnement de ce thermomètre, le globe réagit aux rayonnements nets vers ou à partir des surfaces environnantes (Parois par exemple). Si le rayonnement est reçu, alors  $GT > DBT$  ;  $GT < DBT$ , cela indique que les surfaces environnantes sont plus froides que la température de l'air, conséquence de l'émission des rayonnements. En outre, dans l'air immobile le  $MRT = GT$ . À ce propos, il est possible d'effectuer une correction du mouvement ou de la vitesse de l'air ( $v$  en m/s), comme l'indiquent Auliciems et Szokolay (1997). Dans la recherche de Maiti (2014), un thermomètre à globe noir a été utilisé pour calculer la température radiante moyenne (MRT) (Maiti 2014). Il a placé son thermomètre au centre de la pièce (la chambre) d'expérimentation comme il a été suggéré par la norme ISO 7726 (1998).



Figure 1–1: Thermomètre globe (capteur du Testo 480) (Budiaková 2017)

Pour plus de clarté, il est à noter que nous allons traiter dans la présente recherche le confort thermique dans les logements collectifs, c'est-à-dire le confort thermique intérieur. Dans cette dimension, l'interaction entre le corps (la peau) de l'habitant et les parois (les surfaces intérieures des parois) de son logement est considérée comme le phénomène

thermique le plus important pour la présente étude. À ce propos, nous pouvons signaler que les parois chaudes des logements peuvent émettre la chaleur par rayonnement à l'occupant. Dans une lecture contradictoire, le corps de l'habitant peut être également considéré comme une source d'émission, si la température des parois du logement est inférieure à la température de son corps ou de sa peau.

Et pour conclure ce paramètre, nous pouvons dire que la température radiante moyenne des parois a un impact considérable sur le niveau du confort thermique des habitants.

### **1.2.1.3. Humidité relative de l'air (Hr)**

L'humidité est une mesure de la quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air, comme le confirme McIntyre (1973). D'autre part, ce chercheur montre également que l'humidité relative de l'air est le rapport entre la pression de la masse de la vapeur d'eau contenue dans l'air d'une température donnée et la pression maximale de la vapeur d'eau (c'est-à-dire pour l'air saturé) pour la même température de l'air. Par ailleurs, l'humidité de l'air influe également sur la vitesse d'évaporation. Ce processus peut s'expliquer par l'humidité relative (Hr en %), humidité absolue, ou par la pression de la vapeur ( $p$ , en kPa), comme l'indiquent Auliciems et Szokolay (1997).

Il est à noter que la vapeur d'eau produite par le corps de l'habitant est un processus important dans les techniques physiologiques de la régulation thermique. Cette vapeur produite par le corps est généralement influencée par la masse de la vapeur contenue dans l'air ; c'est à dire si le pourcentage de l'humidité relative de l'air augmente et devient plus proche du pourcentage de l'air saturé (100%), la possibilité de produire la vapeur d'eau par la peau (par sueur, transpiration) et par les poumons de l'occupant est réduite. Cette conduite empêche le corps de la possibilité de réaliser une autodiminution de la température afin de se rapprocher à la sensation thermique confortable. Donc, si le pourcentage de l'humidité relative de l'air augmente, la sensation thermique chaude augmente parallèlement à son tour. De ce fait, on peut déduire que l'humidité relative de l'air est le paramètre qui influe le plus sur la sensation thermique chaude dans le cas où la température est très élevée par rapport aux degrés de la température les moins élevés. À ce sujet, Nevins et al. (1966), McIntyre (1973) et McIntyre et Griffiths (1975) signalent le fait que si le corps d'une personne est très chaud,

l'augmentation remarquable de l'humidité va lui faire sentir plus chaud et plus inconfortable (Nevins et al. 1966 ; McIntyre 1973 ; McIntyre et Griffiths 1975).

D'autre part, si le pourcentage de l'humidité de l'air est très bas par rapport aux pourcentages optimaux, le dessèchement de la peau de l'habitant est le phénomène le plus remarquable dans cette situation. En plus, la diminution de la température du corps est devenue comme un des phénomènes qui provoquent la sensation inconfortable de l'habitant.

Bien qu'il est difficile de donner des limites ou des chiffres exacts au pourcentage optimal de l'humidité relative de l'air, car il varie selon la sensation d'une personne à l'autre, on peut assurer le confort thermique de l'occupant lorsque le pourcentage de l'humidité relative de l'air varie objectivement entre 35% et 65%, comme l'attestent McIntyre (1973) et Holm et Engelbrecht (2005).

#### **1.2.1.4. Vitesse de l'air (v)**

L'effet thermique de la vitesse de l'air est fortement lié à la température de l'air, comme le soutiennent Izard et Millet (1993). Il est à signaler aussi que l'effet thermique de la vitesse de l'air influe sur le confort de l'occupant, car il est considéré comme un indicateur important afin d'effectuer les échanges thermiques entre le corps de l'habitant et son environnement. Dans le même ordre d'idée, il faut noter que le mouvement thermique de l'air et sa vitesse ont un impact sur le refroidissement du corps de l'occupant, où le corps perd de la chaleur par convection sous l'effet de l'air, sachant que le mouvement et la vitesse de l'air ne font pas diminuer la température, mais ils provoquent seulement un refroidissement du corps. En outre, Auliciems et Szokolay (1997) signalent que le mouvement de l'air est mesuré par sa vitesse et affecte également l'évaporation de l'humidité de la peau par l'effet de refroidissement par évaporation (Auliciems et Szokolay 1997).

Physiologiquement, le corps fait un cycle entre la sueur et l'évaporation afin de rester dans un état thermique optimal. Dans une première étape, le corps de l'occupant est mouillé, ensuite ce liquide se transforme en vapeur. En effet, ces phénomènes physiques et physiologiques conduisent la masse de la vapeur d'eau dans l'air qui tourne autour du corps de l'habitant à devenir saturé, parce que la vapeur se transforme en liquide, ainsi que la température de cette couche d'air « saturer » augmente. On peut remarquer ce phénomène lorsqu'on fait des efforts physiques avec intensité. Par ailleurs, si le mouvement de l'air est

absent, dans cette situation, i) la vapeur produite par le corps sera arrêtée à cause de la saturation de l'air par l'eau (comme on a déjà montré ci-dessus dans la dimension « l'humidité relative de l'air »), ii) ainsi que l'effet négatif de la température sera augmenté parallèlement. Ces deux réactions influent négativement sur le confort de l'habitant. Cependant, avec la présence d'un mouvement caractérisé par une vitesse optimale, cette couche d'air saturé chaude peut être renouvelée par un air frais.

De cela, on peut dire que le mouvement de l'air d'une vitesse donnée joue un rôle important dans l'augmentation de l'échange thermique moyenne entre le corps de l'habitant et son environnement. Dans les périodes chaudes, si la température de l'air est inférieure à la température de la peau, l'augmentation de la vitesse de l'air fait augmenter la sensation confortable. À ce sujet, Jannot et Djiako (1994) assurent que la ventilation qui est le mouvement de l'air d'une vitesse donnée permet d'améliorer la sensation thermique de l'occupant en augmentant la vitesse de l'air autour de l'espace occupé (Jannot et Djiako 1994). De même, Izard et Millet (1993) prétendent qu'on peut augmenter la vitesse de l'air, si la température de l'air est élevée, afin d'avoir un confort d'été (Izard et Millet 1993). D'autre part, ce niveau de sensation thermique diminue dans les périodes froides, et l'occupant devient dans un état inconfortable (très froid).

Néanmoins, si le degré de la température de l'air augmente plus que celui de la température de la peau de l'habitant, le phénomène de l'évaporation de celui-ci produit par le corps augmente. Conséquemment, le mouvement de l'air qui se caractérise par une vitesse considérable est déconseillé dans les zones à climat très chaud et aride. Dans le même ordre d'idée, Jannot et Djiako (1994) assurent que le mouvement de l'air devient insuffisant si la température de l'air dépasse le 32°C pour l'air sec et le 30°C pour l'air humide (Jannot et Djiako 1994). Dans cette situation, et avec la présence d'une vitesse d'air très élevée, le niveau du gain de la chaleur de l'occupant augmente par rapport au niveau de la déperdition causée par l'évaporation produite par son corps. Toujours dans la même perspective, Izard et Millet (1993) soulignent que plus la vitesse de l'air est élevée, plus la température de l'air augmente (Izard et Millet 1993).

Finalement, on peut dire que la vitesse de l'air est nécessaire dans les milieux d'habitation, sachant qu'elle ne doit pas dépasser le 0.2m/s, comme le certifient De Herde et Liébard (2005). Cela convient pour les environnements thermiques modérés avec une activité

légère, principalement sédentaire pendant le refroidissement. De même, il faut noter qu'elle doit être inférieure à 0,15 m/s pendant la période hivernale (Holm et Engelbrecht 2005).

### 1.2.2. Paramètres personnels

Parallèlement aux paramètres environnementaux, les caractéristiques personnelles de l'habitant tel que l'âge, le poids, la taille, le genre, l'activité et les vêtements sont également considérés comme déterminants pour le niveau du confort thermique de ces habitants. Par ailleurs, l'activité et l'habillement sont considérées comme les deux paramètres personnels les plus importants, comme argumenté par nombre d'auteurs (Höppe 1988 ; Havenith et al. 2002).

#### 1.2.2.1. Métabolisme

L'activité métabolique du corps humain dépend de l'état de la santé, de l'âge, du sexe et du type de diète (la quantité et la qualité de la nourriture). De son côté, Fabbri (2015) a divisé le métabolisme en trois catégories qui sont:

- Métabolisme énergétique de base, où les besoins des calories nécessaires au maintien des fonctions vitales dans des conditions de repos ou de neutralité thermique (température 29-31 °C quand il est nu, 25-29 °C s'il est habillé) ;
- Métabolisme lié à la position du corps (couché, assis, debout) ;
- Métabolisme lié au type de travail / activités réalisées (repos, activité physique légère, moyenne, lourde, etc.). (Fabbri 2015)

En fait, la chaleur produite dans le corps par les processus métaboliques doit être dégagée à l'extérieur si l'équilibre thermique a été maintenu. Par ailleurs, le taux métabolique varie en fonction de l'activité exercée par l'habitant. De son côté, Butera (1998) souligne qu'il est souvent mesuré en met ( $1 \text{ met} = 50 \text{ kcal h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) (Butera 1998). D'autre part, McIntyre (1973) assure qu'une personne active produit un taux très élevé de chaleur, et cela exige que l'environnement soit plus frais pour lui permettre de dégager la chaleur supplémentaire.

De plus, McIntyre (1973) a noté que le taux métabolique est normalement exprimé en fonction de la surface corporelle  $M_s$  ( $\text{W} / \text{m}^2$ ) (McIntyre 1973). Sachant que la valeur  $M$  peut varier d'une valeur de repos, environ de  $45 \text{ W/m}^2$  de la surface de la peau ( $0,8 \text{ met}$ ) à plus de  $500 \text{ W/m}^2$  ( $\sim 9 \text{ met}$ ) pour une activité très lourde, voire le tableau 1\_1. En fait, la surface d'une

personne normale est d'environ 1,8 m<sup>2</sup>. L'énergie dégagée par le corps de l'occupant est convertie partiellement d'un temps à un autre en énergie mécanique externe en (W) mais elle est convertie principalement en chaleur à l'intérieur du corps. De tout ce qui précède, la production de la chaleur interne du corps humain (H) est une grandeur qui dépend du métabolisme de son propre corps (M) et de la puissance mécanique externe (W) exprimée par unité de surface de celui-ci. À ce sujet, Fabbri (2015) souligne que le métabolisme peut être calculé par l'équation suivante :  $M = H + W$  (Fabbri 2015)

Par ailleurs, le métabolisme est souvent donné dans l'unité «met», où 1 met est égal au métabolisme pour une personne assise, en repos (1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup>), comme l'indique Olesen (1982). De son côté, McIntyre (1973) signalent le fait que la variation de la taille et du poids d'une personne à l'autre n'est pas plus grande que les changements de la prédiction de l'activité de cette personne (McIntyre 1973). Il faut noter que les activités résidentielles, notamment des salles de séjour par exemple comprennent des tâches quotidiennes qui variaient entre 0,8 et 3 met, où il n'y a aucun cas de travail dépassé, voir la figure 1\_2.

Activité	Met	W/m <sup>2</sup>	W (av)
Dormir	0,7	40	70
Couché, couché dans le lit	0,8	46	80
Assis, au repos	1,0	58	100
Travail debout, sédentaire	1,2	70	120
Travaux très légers (shopping, cuisine, industrie légère)	1,6	93	160
Moyen de travail léger (maison, machine-outil)	2,0	116	200
Travail moyen régulier (marteau-piqueur, danse sociale)	3,0	175	300
Travaux lourds (sciage, rabot à la main, tennis) jusqu'à	6,0	350	600
Travaux très lourds (course, travail des fours) jusqu'à	7,0	410	700

Tableau 1–1: Taux métaboliques des différentes activités (Auliciems et Szokolay 1997)

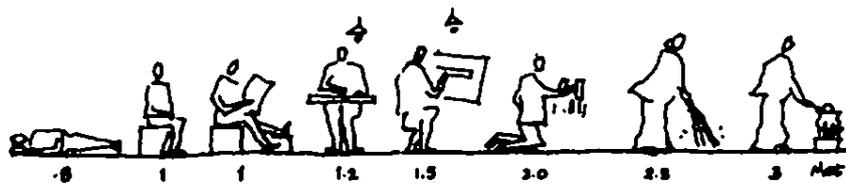


Figure 1–2: Activités domestiques typiques (Mallick 1996)

### 1.2.2.2. Résistance thermique du vêtement

L'habillement est considéré comme l'un des facteurs dominants qui affectent la dissipation de la chaleur, comme souligné par Auliciems et Szokolay (1997). De même, le choix des vêtements par les habitants dans les situations chaudes est couramment limité aux vêtements légers qui ne dépassant pas une valeur d'isolation de 0,5 clo, voir la figure 1\_3. Dans la plupart des cas, le type de vêtement choisi par les occupants laisse généralement le mouvement de l'air qui tourne autour du corps (Mallick 1996), comme le cas de mettre les vêtements traditionnels de Biskra, le Qamis pour les hommes et la Djellaba et la Guandora (Robe) pour les femmes.

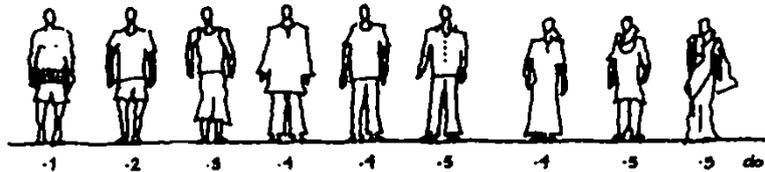


Figure 1-3: Valeurs typiques du (clo) résidentiel (Mallick, 1996)

Par ailleurs, l'échange de chaleur à travers les vêtements dépend de la capacité de ces vêtements à conduire la chaleur, comme argumenté par Fabbri (2015). En effet, l'isolation thermique des ensembles vestimentaires (la résistance thermique des vêtements ( $I_{cl}$ ) prend en compte le type de vêtements selon le type d'activité et des ensembles vestimentaires typiques, peuvent être calculé selon la formule :  $I_{cl} = 0.161 + 0.835 \sum I_{clu}$  (Havenith et al. 2012), ou par la formule :  $I_{cl} = 0.82 \sum I_{clu}$  (Fabbri 2015).

De ce fait, l'unité de mesure de la résistance thermique (clo) peut être définie comme une unité qui exprime les valeurs d'isolation thermique relatives à divers ensembles de vêtements, comme formulé par McIntyre (1973) et Butera (1998).

D'autre part, Auliciems et Szokolay (1997) confirment que le clo exprime la résistance au passage de la chaleur, sachant qu'il est égal à  $0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$ , ou à  $0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$ , pour chaque mètre carré de la surface des vêtements (Auliciems et Szokolay 1997). À ce sujet, Fabbri (2015) signale que pour chaque différence de degré entre la température de la peau et des vêtements extérieurs, permet un passage à travers ces vêtements de  $0,155 \text{ W}$ , comme ci-dessous :

$$1 \text{ clo} = 0.18 (\text{°Cm}^2/\text{kcal}) = 0.155 (\text{°Cm}^2/\text{W}) \text{ ou } (\text{m}^2\text{K}/\text{W}) \text{ (Fabbri 2015)}$$

D'après Fabbri (2015), le clo est une unité développée pour exprimer l'isolation thermique en termes pratiques qui représentent l'isolation fournie par les sous-vêtements d'un travailleur sédentaire dans un environnement intérieur confortable. En fait, ce terme selon la Commission de Physiologie Thermique de l'Union Internationale des Sciences Physiologiques est utilisé généralement dans les techniques de chauffage et de ventilation afin de déterminer des conditions environnementales optimales pour le confort humain (CTPIUPS 1987). De plus, les valeurs de (clo) sont bien définies dans l'annexe de la norme (ISO 9920), comme le montre la Figure 1\_4. Ces vêtements sont utilisés beaucoup plus dans les espaces résidentiels, sachant que pour les familles algériennes, les habitants préfèrent les vêtements présentés dans le cas « c ».

Par ailleurs, l'évaluation du confort thermique dépend de plusieurs facteurs et des choix personnels liés aux vêtements, dans ce sens plusieurs études ont été menées, citons à titre d'exemple l'étude de Havenith et al. (1999) ; Parsons et al. (1999); Havenith et Nilsson (2004) ; Havenith (2007); Al-Ajmi et al. (2008); Błażejczyk et al. (2010); Havenith et al. (2012); Havenith et al. (2015) et l'étude de Vecchi et al. (2017).

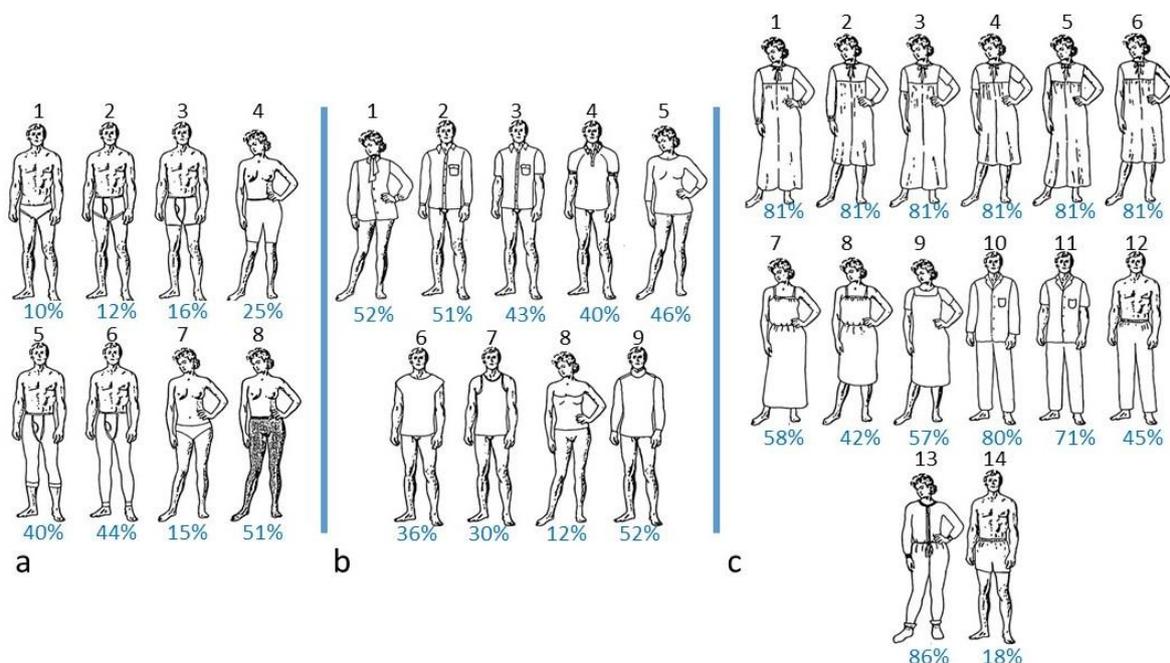


Figure 1-4: Pourcentage de la couverture corporelle selon (ISO 9920): a) sous-pantalon, b) sous-chemises (maillot), c) vêtements de nuit (Fabbri 2015)

### 1.3. Aspects du confort thermique

En principe, il y a trois aspects différents du confort thermique, comme le souligne Höppe (2002), une approche psychologique, une approche thermophysiological et une autre approche basée sur l'équilibre thermique du corps humain (le bilan thermique). De cela l'intérêt est de se baser sur les paramètres prolongés dans ces différents aspects afin de juger le confort thermique dans les espaces architecturaux, notamment dans les logements collectifs.

Dans le même sujet, Lin et Deng (2008) montrent que le jugement du confort est un processus cognitif impliquant de nombreux facteurs influencés par (i) le physique, (ii) la physiologique, (iii) la psychologique et par d'autres facteurs. (Lin et Deng 2008)

#### 1.3.1. L'aspect physiologique (La thermorégulation)

« L'homme vit et travaille dans les climats chauds, mais ses capacités d'adaptation sont limitées. La température ambiante, ainsi que l'humidité et le vent imposent des modes de vie spécifiques à cet animal homéotherme. » (Besancenot 1990).

À ce propos, l'homme est défini donc comme un endotherme (Savourey et al. 2003), homéotherme, avec une température centrale presque stable, qui se situe normalement très proche de 37°C (Imessad et Messaoudène 2008) malgré les variations des degrés de la température extérieure (au niveau urbain ou architectural) ou le niveau de l'effort physique comme la montre la figure 1\_5.

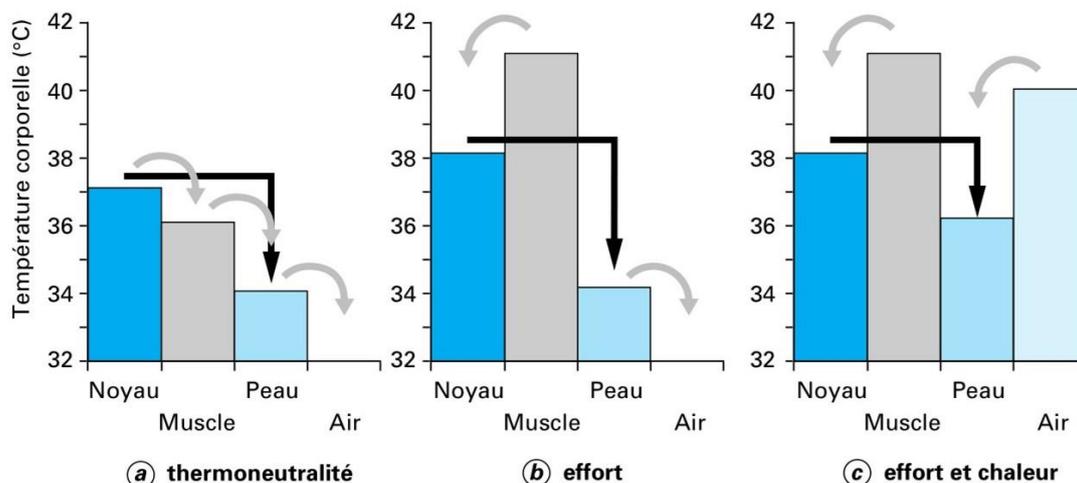


Figure 1-5: Températures corporelles, effets de l'effort et de la chaleur (Candas 2000)

En fait, cette stabilité de la température centrale est due à un système passif, c'est un système dynamique de thermorégulation qui prend le rôle de réguler et de contrôler les échanges de chaleur du corps de l'habitant, c'est-à-dire garantir un équilibre entre la thermogenèse (processus de production de la chaleur) et la thermolyse (processus de perte de chaleur). Sachant que le centre de la thermorégulation se situe dans l'hypothalamus comme le montre la figure 1\_6, ce système permet d'assurer une performance biologique, mentale et physique optimale à l'homme. Ce phénomène se produit à l'aide de deux types de thermorégulation :

- La thermorégulation physiologique végétative ;
- La thermorégulation comportementale.

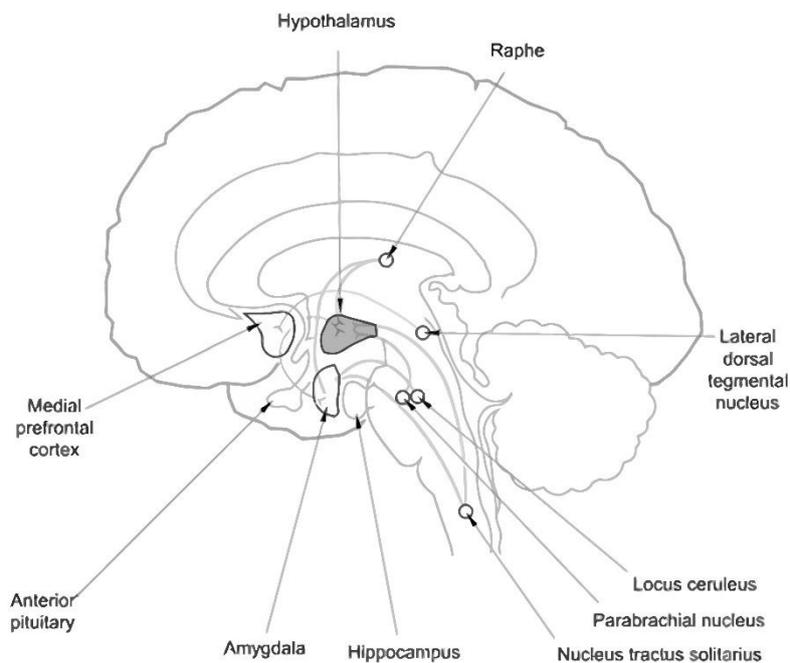


Figure 1–6: Situation de l'hypothalamus (Schulkin 2003 ; Law 2013)

### 1.3.2. L'aspect physique (les échanges thermiques (corps/environnement))

#### 1.3.2.1. Echanges thermiques

Pour le corps humain, la peau peut être considérée comme l'élément principal de la sensation de la chaleur/froid. C'est pour cela que la température de la peau est devenue comme le responsable majeur du niveau du confort de l'habitant. À ce sujet, plusieurs chercheurs dans le domaine du confort thermique ont étudié la relation entre la peau

humaine et l'environnement, citons à titre d'exemple l'étude de Nielsen et Nielsen (1984), de Imessad et Messaoudène (2008), de L. Schellen et al. (2012) et celle de Maiti (2014).

Du point de vue physique, s'il existe une différence de température entre le corps humain et son environnement, la chaleur se propage du plus chaud entre eux vers le plus froid. L'auteur, Besancenot (1990) soutient que ce transfert d'énergie thermique entre ces deux corps physiques met en évidence quatre processus (modes) différents, simultanés ou le contraire : la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation, comme le montre la figure 1\_7. En outre, il est à noter qu'il y a deux autres effets qui participent aux échanges thermiques entre le corps humain et son environnement, comme l'indique Njomo (2010) qui sont : l'effet des vêtements et l'effet métabolique (Njomo 2010).

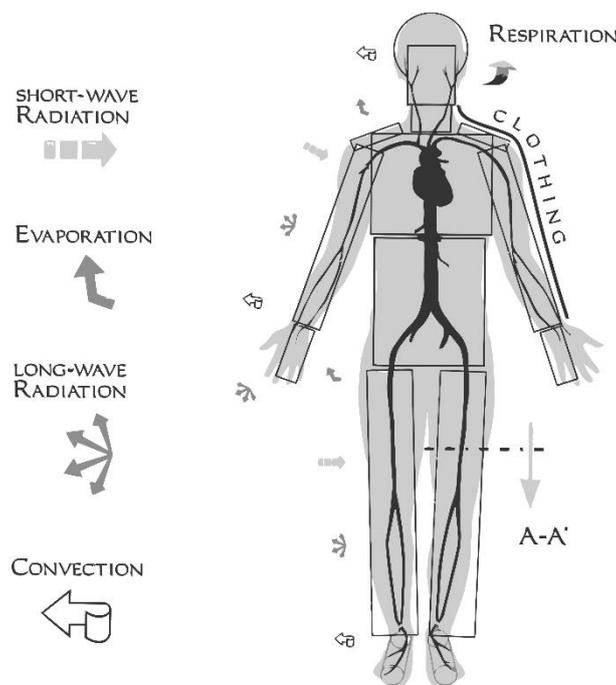


Figure 1–7: Modes de transfert d'énergie thermique entre le corps et l'ambiance (Fiala et al. 1999)

### 1.3.2.2. Bilan thermique

Le confort thermique est très lié au bilan thermique du corps. Selon Djongyang, Tchinda et Njomo (2010), cet équilibre est influencé par les paramètres environnementaux et personnels. D'après ces chercheurs, plusieurs informations quantitatives sur le calcul des échanges de chaleur entre l'homme et son environnement ont été présentées par les études de Newburgh (1949), Gagge et Hardy (1967), Fanger (1970) et Gagge et Nishi (1977). En outre,

le manuel ASHRAE (2001) détaille bien les descriptions mathématiques de l'équation du bilan énergétique et les données des différents termes des échanges de la chaleur utilisés dans l'équation du bilan thermique.

Dans cette perspective, Orosa (2009) et Djongyang, Tchinda et Njomo (2010) indiquent que l'équilibre thermique commence par deux conditions initiales nécessaires pour maintenir le confort thermique:

- Une sensation thermique neutre qui doit être obtenue à partir d'une combinaison de la température de la peau et celle du corps dans sa globalité.
- La quantité de chaleur produite par le métabolisme qui doit être égale à celle perdue dans l'atmosphère (état stationnaire), dans le cas du bilan énergétique de tout le corps de l'habitant. (Orosa 2009 ; Djongyang, Tchinda and Njomo 2010)

À ce sujet, Stolwijk et Hardy (1977) soulignent que le corps humain est composé de deux compartiments thermiques concentriques : la peau et le noyau (Stolwijk et Hardy 1977). La figure 1\_8 présente l'interaction thermique entre un corps humain et son environnement. Pour plus de détaille sur ce sujet, voir la partie théorique de la thèse de (Moujalled 2007).

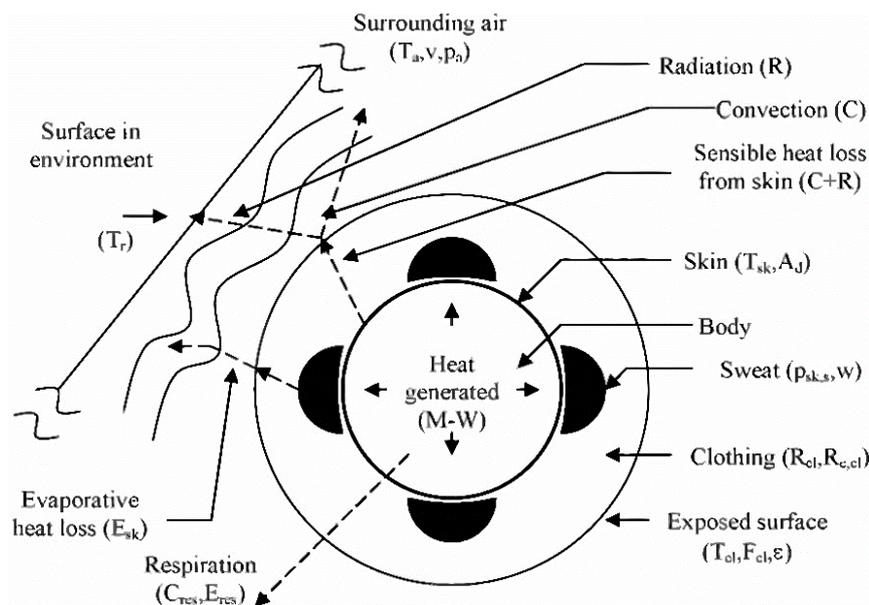


Figure 1–8: L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement (Lin et Deng, 2008 ; Djongyang, Tchinda et Njomo 2010)

### 1.3.3. L'aspect psychologique du confort thermique (la sensation thermique)

Dans le travail analytique des psychologues de l'espace, il est nécessaire de poser les trois questionnements suivantes : comment l'homme : (i) perçoit son espace, (ii) réagit à son espace et (iii) comment s'adapte à son espace ? (Kellou-Djitli 2013). Par ailleurs, et avec une optique architecturale, notamment dans le domaine thermique, l'auteur Höppe (2002) indique que l'aspect psychologique joue un rôle important dans le confort thermique intérieur comme à l'extérieur (Höppe 2002). À ce sujet, Moujalled (2007) soutient que cet aspect concerne la sensation et le comportement de l'homme dans un environnement thermique (Moujalled 2007).

#### 1.3.3.1. La sensation thermique et ses échelles d'évaluation

La sensation thermique est différente d'une personne à une autre, même dans le même environnement, comme argumenté par Djongyang, Tchinda et Njomo (2010). D'autre part, Moujalled (2007) atteste que: « *La sensation thermique correspond à l'aspect qualitatif (chaud ou froid, localisation) et quantitatif (intensité) de la perception de l'état thermique personnel* » (Moujalled 2007). En outre, le même chercheur souligne que plusieurs échelles des niveaux de jugement ont été développées afin d'évaluer la sensation thermique de l'occupant et que les plus souvent utilisées dans la littérature sont l'échelle proposée par Bedford et l'échelle de l'ASHRAE comme le montre le tableau 1\_2. Pour plus d'information sur les questionnaires de la sensation thermique voir l'ouvrage de (Fabbri 2015).

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 1–2: Échelles de la sensation thermique (Moujalled 2007)

### 1.4. L'approche rationnelle «L'approche du bilan thermique»

La sensation thermique acceptable de l'occupant est fortement liée à l'équilibre thermique du corps de l'habitant qui se base sur l'interaction thermique correcte entre le

corps et son environnement interne, elle est trop affectée par les facteurs environnementaux, comme soulignent Sadafi et al. (2011). D'autre part, Hensen (1991) et Djongyang, Tchinda et Njomo (2010) certifient que l'insatisfaction peut être causée par le corps dans son ensemble étant trop chaud ou froid, ou par le réchauffement inacceptable ou le refroidissement d'une partie particulière du corps (inconfort local) (Hensen 1991 ; Djongyang, Tchinda et Njomo 2010).

En effet, l'approche de l'équilibre thermique est basée sur les expériences de Povl Ole Fanger : physiologiste à l'Université technique du Danemark (Wagner et al. 2007 ; Djongyang, Tchinda et Njomo 2010). Fanger s'est penché sur la relation entre les paramètres physiques d'un environnement et les paramètres physiologiques des personnes, ainsi que par la perception du bien-être exprimée par ces personnes elles-mêmes (Fabbri 2015). À ce sujet, Carlucci (2013) montre que ces paramètres combinent généralement les paramètres physiologiques comme : (la valeur de l'humidité cutanée et la température moyenne de la peau), les paramètres comportementaux (personnelles) comme : (le taux métabolique lié à l'activité et la résistance thermique des vêtements) et les paramètres de l'environnement thermique comme : ( la température moyenne de rayonnement évaluée dans une position représentative d'une pièce, l'humidité relative ou la température de bulbe humide et la vitesse d'air, etc.) (Carlucci 2013). De ce fait, (Fanger 1970) intègre les six facteurs mentionnés par Macpherson (1962) et le modèle à deux noeuds de Gagge, Fobelets et Berglund (1986). Dans une évaluation expérimentale, (Doherty and Arens, 1988) ont montré que ces modèles sont exacts pour les occupants qui ont une activité quasi sédentaire et des conditions d'équilibre (Djongyang, Tchinda and Njomo, 2010).

La recherche de Fanger a commencé dans les années soixante du XXe siècle au niveau de la cellule du Laboratoire de chauffage et de climatisation de l'Université technique du Danemark et au niveau de l'Institut de recherche environnementale à l'Université d'État du Kansas. Après cinq (5) ans d'étude, Fanger a publié en 1967, son article intitulé : «Calcul du confort thermique: Introduction d'une équation de confort de base» (Fanger 1967) qui propose une échelle de notation de perception du bien-être (confort), comme l'atteste Fabbri (2015).

Par la suite et après plusieurs essais et des recherches successives en 1970, il a publié un ouvrage «Confort thermique» (Fanger 1970) dans lequel il définit le contenu d'une nouvelle

discipline: l'étude de l'état de confort et de bien-être en milieu intérieur (Fabbri 2015). En outre, Wang, Altan et Kang (2015) soulignent que le modèle de stabilité du niveau du confort thermique repose sur la logique déterministe de la sensation physique, physiologique et subjective des études de la chambre climatique (Wang, Altan et Kang 2015).

La recherche de Fanger porte sur l'étude des échanges énergétiques entre le corps humain et l'environnement et l'équation de l'équilibre de la chaleur corporelle (Équation de l'équilibre thermique) qui définit les conditions de chaleur, c'est-à-dire la gamme du confort qui corrèle le taux métabolique, la résistance des vêtements, la température de l'air, la température radiante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité relative (Fabbri 2015). Dans ces études, les participants étaient habillés en vêtements standardisés et ont achevé des activités normalisées, alors qu'ils étaient exposés aux différents environnements thermiques. Dans certaines études, les conditions thermiques ont été choisies à la suite par des participants qui ont noté à quel point ils étaient chauds ou froids, par l'utilisation de l'échelle de sept points de la sensation thermique ASHRAE allant de froid (- 3) au chaud (+3) avec neutre (0) au milieu comme c'est exposé ci-dessous (Han et al. 2007):

- (±) 1: légèrement (+) chaud ou (-) froid ;
- (±) 2: chaud (+) ou (-) froid ;
- (±) 3: chaud (+) ou (-) froid ;
- 0: neutre (ni froid, ni chaud).

À ce titre, dans d'autres études, les participants ont contrôlé l'environnement thermique eux-mêmes, en ajustant la température jusqu'à ce qu'ils se sentent thermiquement «neutres» (Charles 2003 ; Djongyang, Tchinda et Njomo 2010).

En effet, le saut conceptuel introduit par Fanger par rapport aux études précédentes est concentré dans l'introduction de l'échelle de notation/jugement de la population elle-même. Sur la base de la rétroaction et les votes de la sensation thermique exprimée par les gens, Fanger élabore une équation qui relie les paramètres environnementaux physiologiques et physiques, et les index de la sensation thermique, comme l'indique Fabbri (2015).

Cette équation du confort a été élargie Fanger (1970) par l'utilisation des données de plusieurs participants (Fanger 1970). L'équation résultante décrit le confort thermique comme le déséquilibre entre le flux de la chaleur réelle du corps dans un environnement thermique

donné et le flux de la chaleur nécessaire pour un confort optimal (c'est-à-dire neutre) pour une activité donnée. En outre, Djongyang, Tchinda et Njomo (2010) confirment que cette équation élargie relie également les conditions thermiques à l'échelle de sept points de la sensation thermique d'ASHRAE (Djongyang, Tchinda et Njomo 2010). De ce fait, elle est devenue célèbre sous le nom de «Vote Prévisible Moyen» (PMV). À ce sujet, le PMV de Fanger est devenu comme un indice empirique développé physiologiquement sur un modèle d'équilibre des échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement. C'est pour cette raison qu'il a été largement utilisé comme indice du confort thermique, cité dans les travaux de Butera (1998); Skoog, Fransson et Jagemar (2005); Jang, Koh et Moon (2007); Wong, Mui et Hui (2008); et Wei et al. (2010).

À partir des expériences de la chambre climatique, Fanger a introduit le modèle (PMV/PPD) du confort thermique. Par la suite, le PMV a été incorporé dans l'indice de «Pourcentage Prévu des Insatisfaits» (PPD). Ce modèle (PMV/PPD) établit d'abord une relation entre les six facteurs primaires basés sur une équation d'équilibrage thermique développée dans des conditions d'équilibre (Fanger 1970). Fanger a contribué à la théorie du confort thermique et à l'évaluation des environnements thermiques intérieurs des bâtiments. La figure 1\_9 est un exemple représentatif du PPD en fonction de PMV. Dans ce cadre, Attia et Carlucci (2015) assurent que ce modèle a été incorporé dans un certain nombre de normes et codes de conception (par exemple, ISO 7730) (Attia et Carlucci 2015). Également, cet indice a été utilisé et largement accepté pour la conception et l'évaluation in situ du confort thermique, comme indiquent Lin et Deng (2008) et Djongyang, Tchinda et Njomo (2010). Dans la même piste de réflexion, Hamdi, Lachiver et Michaud (1999) ont souligné qu'un grand nombre d'indices du confort thermique ont été mis en place afin d'analyser les climats d'intérieur (Hamdi, Lachiver et Michaud 1999). Cependant, seulement quelques-uns d'entre eux ont été utilisés pour évaluer la capacité d'un climat ambiant existant pour créer des conditions thermiques satisfaisantes des occupants. À leurs tours, Butera (1998) et Wei et al. (2010) signalent que la plus courante et la mieux comprise est le «Vote Moyen Prédit» de Fanger (PMV-PPD) (Butera 1998 ; Wei et al. 2010).

Le diagramme de PPD-PMV présenté dans la figure 1\_9 nous permet de vérifier quel pourcentage de personnes sont insatisfaites (PPD) afin de réaliser un jugement de la sensation thermique des habitants. Le PMV dépend toujours des mêmes paramètres physiques de

l'environnement, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température radiante moyenne, métabolisme et l'habillement (Hoof et Hensen 2006). En plus, le PMV varie selon les conditions extrêmes, «très froides» ou «très chaudes», augmentez selon une loi logarithmique du pourcentage des personnes qui se déclarent qui sont insatisfaites (Fabbri 2015).

De leur côté, Lin et Deng (2008) indiquent que le modèle PMV-PPD est utile uniquement pour prédire les réponses du confort à l'état de l'équilibre tandis qu'un modèle à deux nœuds peut être utilisé pour prédire les réponses physiologiques ou les réponses aux situations transitoires (Lin et Deng 2008). D'après Djongyang, Tchinda et Njomo (2010), plusieurs études approfondies ont été menées pour évaluer le confort thermique à l'aide de chambres d'essai (Djongyang, Tchinda et Njomo 2010). Citant à titre d'exemple l'étude de Fanger (1970) au Danemark, de Tanabe, Kimura et Hara (1987) au Japon, la recherche de Chung et Tong (1990) à Hong Kong et l'étude de De Dear et Leow (1990) au Singapour, etc...

Par ailleurs, et d'après l'affirmation de Fabbri (2015), les premières études de l'évolution apportée par Fanger dans la discipline, la littérature scientifique a approfondi la base physiologique du confort, le corps humain et le système de thermorégulation dynamique de l'homme, les techniques de modèles du confort thermique (Fabbri 2015). Dans cette perspective, plusieurs études sur l'approche adaptative ont été achevées dans la littérature, citant l'étude de Van Hoof (2008); Djongyang, Tchinda et Njomo (2010); Frontczak et Wargocki (2011); et la recherche de Mishra et Ramgopal (2013).

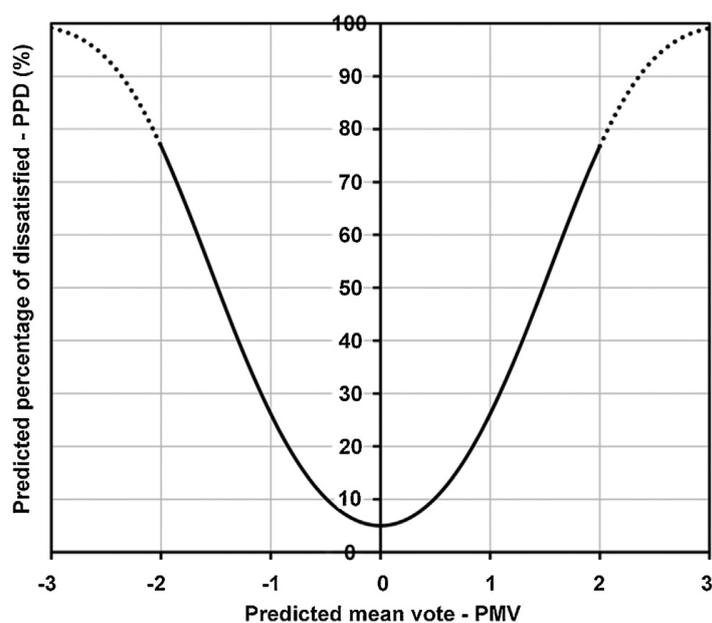


Figure 1–9: (PPD) en fonction du (PMV) (Attia et Carlucci 2015)

## 1.5. L'approche adaptative

D'après Nikolopoulou et Steemers (2003), le terme « adaptation » peut être défini comme la diminution progressive de la réponse de l'organisme à l'exposition répétée à un stimulus, impliquant toutes les actions qui les rendent mieux aptes à survivre dans un environnement donné (Nikolopoulou et Steemers 2003). Dans le contexte du confort thermique, le terme « adaptation » peut impliquer tous les processus que les gens passent afin d'améliorer l'ajustement entre l'environnement et leurs exigences.

D'autre part, l'approche adaptative du confort thermique repose sur les résultats des études de confort thermique réalisées sur le terrain (in situ) (Humphreys 1994 ; Brager et De Dear 1998 ; Humphreys et Nicol 1998 ; Yao, Li et Liu 2009) visant à analyser l'acceptabilité réelle de l'environnement thermique, qui dépend fortement du contexte, du comportement des occupants et de leurs attentes (Djongyang, Tchinda et Njomo 2010). Les organisations apparentées (Standard 2004), en particulier dans le contexte de l'évaluation du confort thermique dans un espace non climatisé. (Humphreys, 1995) a noté que « *the adaptive approach notices that people use numerous strategies to achieve thermal comfort. They are not inert recipients of the environment, but interact with it to optimise their conditions* ». L'hypothèse fondamentale de l'approche adaptative est exprimée par le principe adaptatif: « *si le changement se produit de manière à produire de l'inconfort, les personnes répondront par des réactions qui tendent à rétablir leur confort* », comme souligné par Nicol et Humphreys (2002) et Kalz et Pfafferott (2014).

D'autre part, différents auteurs ont encouragé des études sur le terrain en plus des expériences en laboratoire. Dans les études in situ, les gens se sont adaptés en souplesse avec leur comportement afin d'assurer le confort thermique à travers diverses approches (Yao, Li and Liu 2009). Dans cette piste de réflexion, Brager et De Dear (1998) et Yao, Li et Liu (2009) déclarent que l'hypothèse d'adaptation indique que la satisfaction d'un climat intérieur est obtenue en faisant correspondre les conditions thermiques réelles qui prévalent à ce moment-là dans le temps et dans l'espace avec les attentes thermiques de ce que devrait être le climat intérieur (Brager et De Dear 1998 ; Yao, Li et Liu 2009). De leur côté, Cena et de Dear (2001) indiquent que les études sur le terrain permettent également d'analyser d'autres facteurs que ceux qui peuvent être simulés dans les chambres, car les sujets fournissent des

réponses dans leur habitat quotidien, ils portent leurs vêtements de tous les jours et se comportent sans aucune restriction supplémentaire (Cena et de Dear 2001).

D'après les études de Oseland (1995) et de Van Der Linden et al. (2006), les chercheurs De Dear et Brager (2002) et Attia et Carlucci (2015) avancent que l'acceptation apparente de la température la plus chaude est due à différentes perceptions psychologiques et adaptations (De Dear et Brager 2002 ; Attia et Carlucci 2015). En effet, cette constatation a modifié l'idée que les occupants peuvent être considérés comme des utilisateurs passifs (Haldi et Robinson 2008). En revanche, les occupants adaptent l'environnement à leurs attentes en utilisant de fenêtres, stores, ventilateurs (plafond) et portes ou changement du taux métabolique (niveau d'activité et boissons froides), taux de perte de chaleur (habillement) et environnement thermique (contrôles) (De Dear et Schiller Brager 2001 ; Nicol et Humphreys 2002 ; Pfafferott et al. 2007 ; Attia et Carlucci 2015). Au niveau d'un certain nombre d'études sur le confort adaptatif, on peut démontré que la température extérieure avait un effet dominant sur la définition des conditions de confort thermique comme l'étude de De Dear (1999), la recherche de De Dear et Schiller Brager (2001) et l'étude de Attia et Carlucci (2015).

Il est à noter qu'un certain nombre de modèles adaptatifs cherchent à corrélérer le confort thermique perçu par une certaine mesure des températures extérieures récentes et de la température interne actuelle (Pfafferott et al. 2007). La figure 1\_10, montre clairement que le confort thermique intérieur est en fonction de la température extérieure. D'après Attia et Carlucci (2015), les modèles de confort adaptatif sont dérivés d'une approche en boîte noire (Yao, Li et Liu 2009) et relie la température opératoire optimale intérieure ( $T_c$ ) à une élaboration de la température de l'air extérieur ( $T_o$ ), par analyse de régression linéaire et la température opératoire optimale à l'intérieur comme  $T_c = a T_o + b$  (Attia et Carlucci 2015). Les mêmes auteurs signalent que plusieurs modèles du confort adaptatif ont été développés au cours de ces dernières décennies et diffèrent selon l'utilisation afin d'élaborer la température de l'air extérieur ( $T_o$ ) et pour les différentes valeurs des coefficients «a» et «b», voir le tableau 1\_3. Cela indique l'absence de valeurs de paramètres acceptés universellement (a et b) et la fonction exprimant l'évolution de la température de l'air extérieur (Bouden et Ghrab 2005 ; Attia et Carlucci 2015).

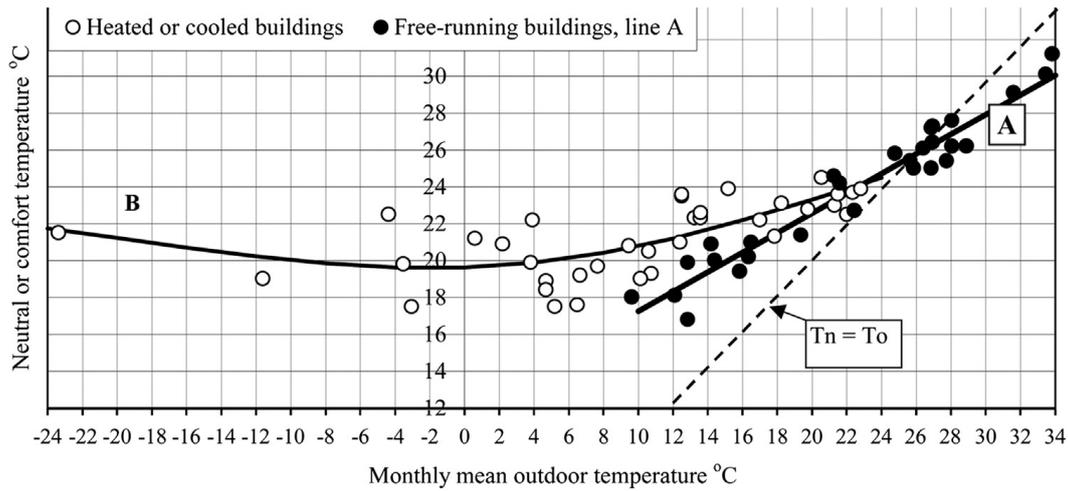


Figure 1–10: La température du confort en fonction de la température extérieure (Humphreys 1978 ; Taleghani et al. 2013)

Source	a	f (T ext )	b	Domaine d'application
(EN15251 2007)	0.33 <sup>a</sup>	Température moyenne de l'air extérieur pondérée exponentiellement	18.8 <sup>a</sup>	f(T ext ) ∈ [10, 30] ° C
(Höppe 2002)	0.31 <sup>a</sup>	Température moyenne mensuelle de l'air extérieur	17.8 <sup>a</sup>	f(T ext ) ∈ [10, 33.5] ° C
(Pfafferott et al. 2007)	0.315 <sup>c</sup> 0.34 <sup>a</sup>	Température moyenne de l'air extérieur pondérée exponentiellement	17.82 <sup>c</sup> 17.63 <sup>a</sup>	f(T ext ) ∈ [5, 30] ° C
(De Dear 1999)	0.302 <sup>a</sup>	Température moyenne de l'air extérieur pondérée exponentiellement	19.39 <sup>a</sup>	f(T ext ) > 10 ° C
(Bouden et Ghrab 2005)	0.54 <sup>a</sup>	Température moyenne mensuelle de l'air extérieur	13.5 <sup>a</sup>	f(T ext ) ∈ [10, 30] ° C
(Kempton et Lutzenhiser 1992)	0.36 <sup>c</sup>	Température extérieure mensuelle moyenne	18.5 <sup>c</sup>	f(T ext ) ∈ [5, 35] ° C
(De Dear et al. 1998)	0.255 <sup>a</sup> 0.04 <sup>b</sup>	Température effective extérieure mensuelle (ET <sup>a</sup> )	18.9 <sup>a</sup> 22.6 <sup>b</sup>	f(T ext ) ∈ [5, 32] ° C
(Brager et De Dear 2000)	0.38 <sup>b</sup>	Température moyenne mensuelle de l'air extérieur du mois précédent	17.0 <sup>b</sup>	f (T ext ) ∈ [5, 35] ° C
(Nicol 1995)	0.534 <sup>b</sup>	Température moyenne de l'air extérieur pondérée exponentiellement	12.9 <sup>b</sup>	Non défini
(De Dear et al. 1998)	0.31 <sup>a</sup>	Moyenne de la quinzaine précédente	17.6 <sup>a</sup>	Non défini
(Köppen et Geiger 1930)	0.534 <sup>a</sup>	Température moyenne mensuelle de l'air extérieur	11.9 <sup>a</sup>	Non défini

<sup>a</sup> Modèle exclusivement développé pour les bâtiments flottants et naturellement ventilés.

<sup>b</sup> Modèle exclusivement développé pour les bâtiments climatisés.

<sup>c</sup> Modèle développé pour tous types de bâtiments (fonctionnement libre, mixte, conditionné).

Tableau 1–3: Termes de l'équation générale des modèles adaptatifs (Attia et Carlucci 2015)

Finalement, Fabbri (2015) a cité quelques études dans la littérature du confort thermique adaptatif de la dernière décennie comme l'étude de Olesen et Parsons (2002), Brager et De Dear (1998), l'étude de Schweiker et al. (2012), celle de Humphreys et Hancock (2007) et l'étude de Halawa and Van Hoof (2012). D'autre part, le chercheur Fabbri (2015) assure également que l'approche adaptative prend en compte les variations de l'individu en tout cas, même dans une condition de PMV neutre, où l'occupant est dans une condition confortable. Dans ce cas, cette approche tient compte de la variation dynamique des conditions environnementales internes et externes, et de l'individu (Fabbri, 2015). L'autre domaine d'étude concerne l'extension des entités et des individus, non seulement les hommes et les femmes adultes, en bonne santé, mais aussi les malades, les personnes âgées, les enfants, et pas seulement dans le côté psychique, mais aussi avec les informations cognitives et les résultats qui peuvent être utiles pour la conception.

### 1.5.1. Catégories de l'approche adaptative

Dans la littérature scientifique un grand nombre d'études telle que celles de Brager et De Dear (1998); De Dear et al. (1998); De Dear (2004); Djongyang, Tchinda et Njomo (2010); Liu, Yao et McCloy (2012) ont déclaré qu'il existe trois principaux types d'adaptations : (i) physiologique, (ii) psychologique et (iii) comportementale, comme la montre la figure 1\_11.

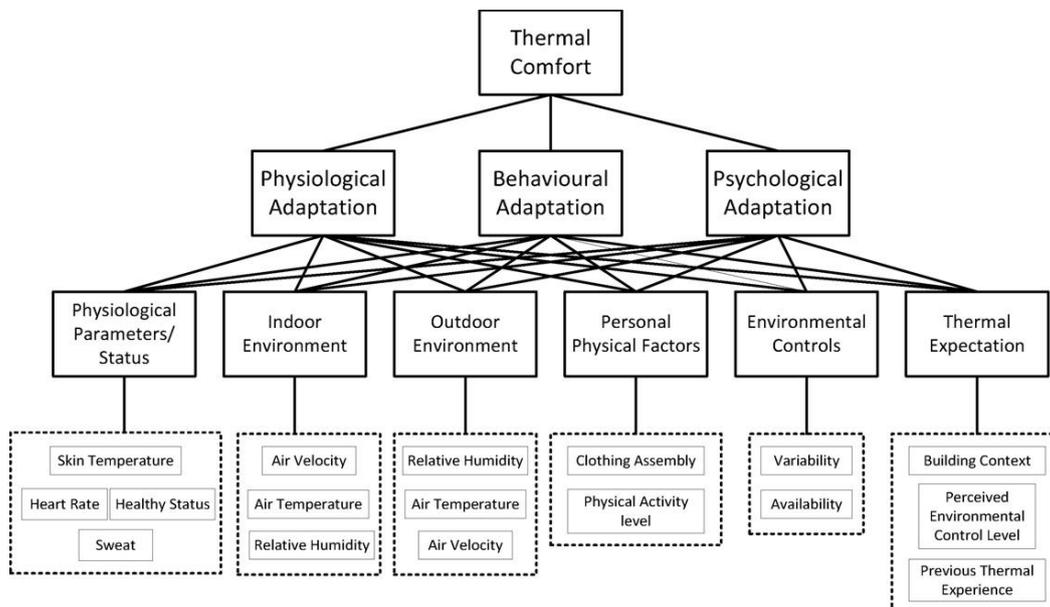


Figure 1–11: Méthode de processus hiérarchique analytique du confort thermique (Liu, Yao et McCloy 2012)

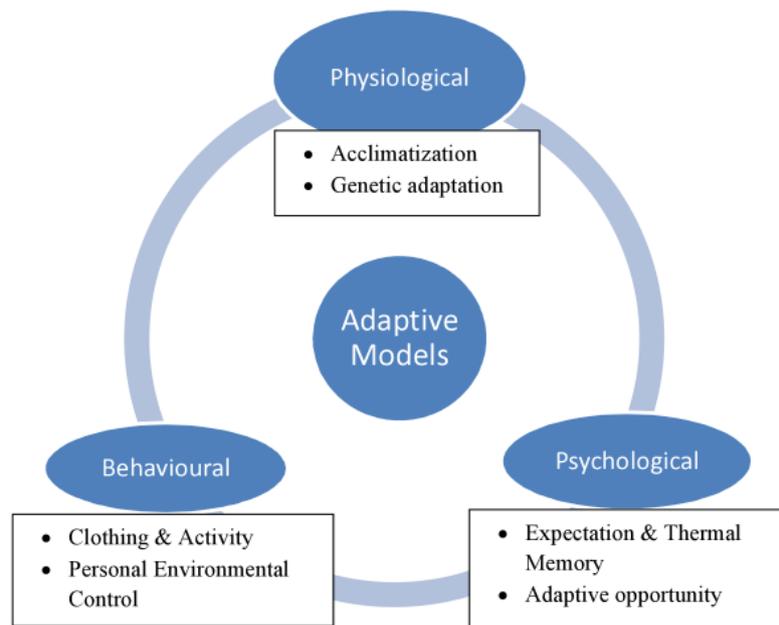


Figure 1–12: Diagramme schématique du principe holistique des modèles adaptatifs (Croitoru et al. 2015)

D'autre part, Liu, Yao et McCloy (2012) signalent que l'adaptation psychologique ne peut pas être observée directement, où une telle caractéristique invisible ne peut pas être facilement décrite et évaluée (Liu, Yao et McCloy 2012). De ce fait, l'adaptation psychologique ne peut pas être facile à mesurer ou à quantifier. Elle est généralement mentionnée comme une perception altérée, et la réaction à l'information sensorielle due à des expériences passées et des attentes thermiques, comme argumenté par De Dear et Brager (2002) et Yao, Li et Liu (2009). Selon Liu, Yao et McCloy (2012), les chercheurs Nikolopoulou et Steemers (2003) décrivent de leur côté l'effet de l'adaptation psychologique sur la perception thermique de l'environnement extérieur et ils soutient également que l'expérience à court terme est liée à la mémoire et semble être responsable des changements dans les attentes des gens d'un jour à l'autre (Liu, Yao et McCloy 2012). Actuellement, il y a peu de recherches sur la durée de l'adaptation psychologique. Cela peut être dû aux différences de race, de conditions de vie, etc., qui conduisent à des écarts dans les critères de perception thermique et les processus cognitifs, comme l'indiquent Liu, Yao et McCloy (2012).

Finalement, l'adaptation comportementale est celle qui peut être observée principalement dans un environnement réel et par conséquent peut être étudiée

intensivement. De ce fait, ce type d'adaptation comprend de nombreux comportements conscients ou inconscients effectués dans un environnement occupé (Liu, Yao et McCloy 2012). Comme l'exemple de mettre/enlever les vêtements, allumer/éteindre un ventilateur ou chauffer et prendre des boissons chaleur/froid, peuvent être considérés comme un ajustement comportemental, car ces comportements entraîneront par conséquent un changement dans l'équilibre thermique du corps humain, comme argumenté par Wohlwill (1972); De Dear et al. (1998); Yao, Li et Liu (2009). D'autre part, les réponses individuelles (enlèvement d'un vêtement), technologiques (allumage d'un climatiseur) et culturelles (ayant une sieste au chaud du jour) sont les trois sous-classifications principales (Brager et De Dear 1998 ; Liu, Yao et McCloy 2012). Cependant, on s'entend généralement pour dire que l'acclimatation physiologique ne joue pas un rôle dans les procédures adaptatives (Fanger et Toftum 2002). Par conséquent, les attentes et les ajustements comportementaux ont une influence beaucoup plus grande en terme du confort thermique, comme le soutiennent (Brager et De Dear, 1998 ; Yao, Li et Liu 2009).

## 1.6. Évaluation du confort thermique

### 1.6.1. Indices d'évaluation du confort thermique

Dans la littérature scientifique, on trouve que les chercheurs ont élaboré plusieurs indices afin d'évaluer le niveau du confort thermique des occupants. Le Tableau 1\_4 montre le développement historique des indices liés au confort thermique dans une période de 113 ans de l'année 1897 au 2010, de l'indice de la théorie du transfert de la chaleur élaboré par Hill, Barnard et Sequeira (1897), jusqu'à l'indice de dépassement  $M$  présenté par Brager et Borgeson (2010).

source	Indice
(Hill, Barnard et Sequeira 1897)	Théorie du transfert de la chaleur
(Haldane 1905)	Température de l'ampoule humide ( $T_w$ )
(Hill, Griffith et Flack 1916)	Katathermometer
(Houghton et Yaglou 1923)	Température effective (ET)
(Dufton 1929)	Température équivalente ( $T_{eq}$ )
(Vernon et Warner 1932)	Température effective corrigée (CET)
(Winslow, Herrington et Gagge 1937)	<b>Température opérative (Top)</b>
(Robinson, Turrell et Gerking 1945)	Rapport de l'acceptation thermique (TAR)
(McArdle et al. 1947)	Taux de la sueur prédit de 4 h (P4SR)
(Missenard 1948)	Température résultante (RT)

(Belding et Hatch 1955)	Indice du stress thermique (HSI)
(Yaglou et Minaed 1957)	Température du globe à bulbe mouillé (WBGT)
(Lind et Hellon 1957)	Indice d'Oxford (WD)
(Thom 1959)	Indice de l'inconfort (DI)
(Lee 1958)	Indice de déformation thermique (TSI)
(Tennenbaum et al. 1961)	Indice d'inconfort cumulatif (CumDI)
(Givoni 1962)	Indice du stress thermique (ITS)
(McKarns et Brief 1966)	Indice de déformation thermique (corrigé) (HSI)
(Fuller et Brouha 1966)	Prévision de la fréquence cardiaque (FC)
(Fanger 1970)	<b>Vote moyen prévu (PMV)</b>
(Gagge 1971)	Nouvelle température effective (ET n)
(Botsford 1971)	Température du globe mouillé (WGT)
(Nishi et Gagge 1971)	Température humide opératoire
(Givoni et Goldman 1972)	Température corporelle prédite
(Kerslake 1972)	Humidification de la peau
(Gonzalez, Nishi et Gagge 1974)	Température effective standard (SET)
(Givoni et Goldman 1973)	Fréquence cardiaque prédite
(Gagge, Fobelets et Berglund 1986)	Vote moyen prévu (modifié) (PMV n)
(Moran et al. 1998)	Indice de l'inconfort modifié (MDI)
(Höppe 1999)	Température équivalente physiologique (PET)
(Pepi 2000)	Nouvel indice de mijotèrent d'été
(Moran et al. 2001)	Indice du stress environnemental (ESI)
(Jendritzky, Maarouf et Staiger 2001)	Indice universel du climat thermique (UTCI)
(Guide 2002)	CIBSE guide J critère
(Wallace et al. 2005)	Température sèche à bulbe mouillé (humide) (WBBDT)
(Wallace et al. 2005)	Température sèche à l'humidité relative
(ISO7730 2005)	Pourcentage hors de la gamme extérieure
(ISO7730 2005)	Critère de degré d'heure
(ISO7730 2005)	Critère pondéré PPD
(ISO7730 2005)	PPD moyen
(ISO7730 2005)	PPD cumulatif
(CIBSE 2006)	Guide CIBSE A critère
(EN15251 2007)	Critère de degré d'heure (version modifiée)
(Robinson et Haldi 2008)	Risque de surchauffe
(Nicol et al. 2009)	Risque de surchauffe
(Brager et Borgeson 2010)	Dépassement $M$

Tableau 1–4: Développement chronologique d'indices liés au confort thermique (Epstein et Moran 2006 ; Carlucci 2013 ; Taleghani et al. 2013 ; Castilla et al. 2014)

### 1.6.1.1. Vote prévisible moyen (PMV)

L'indice du vote prévisible moyen a été traité largement dans la littérature scientifique en architecture, à ce niveau Babbah et al. (2005) attestent que cet indice donne la moyenne des votes d'un groupe important d'individus exprimant un vote par référence à l'échelle de la

sensation thermique (Babbah et al. 2005). Ce groupe de chercheurs a exposé les participants à certaines conditions thermiques pendant une longue période (IDAE 2007). En outre, la valeur de cet indice est basée sur une échelle de sept points de la sensation thermique afin d'évaluer le niveau du confort thermique dans un environnement donné. À ce sujet, différentes normes recommandent de maintenir l'indice PMV au niveau 0 avec une tolérance de  $\pm 0,5$ , comme le confirment (Liang et Du 2005 ; Castilla et al. 2014). D'autre part, Babbah et al. (2005) soulignent également l'avantage de l'indice PMV réside dans le fait qu'il permet aux chercheurs d'obtenir un paramètre unique de niveau du confort ou de la sensation thermique tenant compte de tous les paramètres physiques et physiologiques influençant le confort (Babbah et al. 2005). Afin de calculer le PMV, nous avons exploité les équations suivantes décrites dans la littérature scientifique du domaine :

- $PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028] L = \alpha L$  (Lin et Deng 2008).
- $PMV = \alpha T + bP_v - C$  (Orosa 2009).
- $PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \{ (M - W) - 3.05 \times [5.733 - 0.007 (M - W) - p_a] - 0.42 \times [(M - W) - 5815] - 0.0173 \times M (5.87 - p_a) - 0.0014 \times M (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \times hc (t_{cl} - t_a) \}$  (ISO7730 2005).

Les détails de ces équations sont dans ces trois références : l'étude de (Djongyang, Tchinda et Njomo (2010), la recherche de Maiti (2014) et l'ISO7730 (2005).

### 1.6.1.2. Pourcentage prévu des insatisfaits (PPD)

En fait, l'indice de pourcentage prévu des insatisfaits (PPD) est très lié au PMV. Cet indice a été proposé comme un complément au PMV par le chercheur Povl Ole Fanger, car la sensation thermique n'étant pas suffisante pour exprimer le confort. Cet indice reflète des informations sur le pourcentage de personnes qui ne sont pas satisfaites par rapport à leur environnement thermique (ISO7730 1994 ; Castilla et al. 2014). Par ailleurs, Maiti (2014) signale que le PPD peut être estimé selon l'équation suggérée par ASHRAE (2005):

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

### 1.6.1.3. Température opérative (To)

La température opérative exprime la relation entre la température de l'air et la température radiante, en tenant compte de l'échange de la chaleur par convection et par

rayonnement entre l'occupant et son environnement, comme l'indiquent (Volkov, Sedov et Chelyshkov (2014) et Fabbri (2015)). Néanmoins, elle ignore l'humidité et le mouvement de l'air (Holm and Engelbrecht, 2005). En effet, cet indice a été proposé par Winslow, Herrington and Gagge (1937), il a été défini par l'ISO7730 (2005) comme une température uniforme d'une enceinte noir imaginaire dans laquelle un occupant échangerait la même quantité de la chaleur par rayonnement et par convection que dans l'environnement réellement non uniforme (ISO7730, 2005). D'autre part, cet indice peut être exprimé par l'équation suivante :

- $T_o = (h_r \times t_{mr} + h_c \times t_a) / (h_r + h_c)$  (Fabbri, 2015).

Sachant que :

- $t_a$ : c'est la température de l'air (°C) ;
- $t_{mr}$ : c'est la température radiante moyenne (°C) ;
- $h_r$ : c'est le coefficient de rayonnement ;
- $h_c$ : c'est le coefficient de convection.

La température opérative optimale c'est la température de fonctionnement dans laquelle on peut s'attendre à un nombre maximum d'occupants acceptent la température intérieure (EN15251 2006). À ce sujet, Bos et Love (2013) certifient selon leurs études que la température opérative médiane optimale était d'environ 23 °C et variait de 22 °C à 24 °C (Bos et Love 2013). Dans le même ordre d'idée, le tableau 1\_5 présente les températures opératives recommandées pour les occupants pour l'activité sédentaire basée sur l'ISO 7730-1984 durant les deux périodes (estivale et hivernal).

Saison	Isolation des vêtements [clo]	Niveau d'activité [met]	Température opérative optimale [°C]	Plage de la température opérative [°C]
Hivernale	1,0	1,2	22	20 - 24
Estivale	0,5	1,2	24,5	23 - 26

Tableau 1–5: Températures opératives recommandées pour les occupants, pour l'activité sédentaire basée sur l'ISO 7730-1984 (Taleghani et al. 2013)

### 1.6.2. Diagramme bioclimatique de Givoni

Afin d'évaluer les exigences physiologiques du confort, Baruch Givoni a présenté en 1963 des diagrammes basés sur le diagramme psychrométrique (Attia et Carlucci 2015), c'est-à-dire qu'ils utilisent les caractéristiques principales de l'humidité et de la température de l'air

pour évaluer la sensation thermique et le confort des occupants (Castilla et al. 2014). Son objectif principal est de déterminer les conditions microclimatiques à l'intérieur des bâtiments qui permettent aux chercheurs d'évaluer l'énergie de chauffage et de refroidissement nécessaire pour maintenir des conditions de confort adéquates, comme argumenté par Fernández (1994) et Castilla et al. (2014). Le graphique psychrométrique présenté à la figure 1\_13, est considéré comme la meilleure représentation des variables climatiques (Szokolay 1986). En 1992, Givoni a proposé deux séries de limites pour les pays développés et les pays en développement chauds, avec une élévation suggérée de 2 K (Givoni 1992 ; Attia et Carlucci, 2015). De ce fait, certaines zones du confort hivernal et estival sont superposées sur le diagramme psychrométrique commun. Les caractéristiques de ces zones peuvent être observées dans le tableau 1\_6.

Paramètre	Période estivale	Période hivernale
Température de l'air intérieur [°C]	23 - 26	20 - 24
Humidité relative [%]	40 - 60	40 - 60

Tableau 1–6: Zones du confort intérieur du diagramme psychrométrique (Castilla et al. 2014)

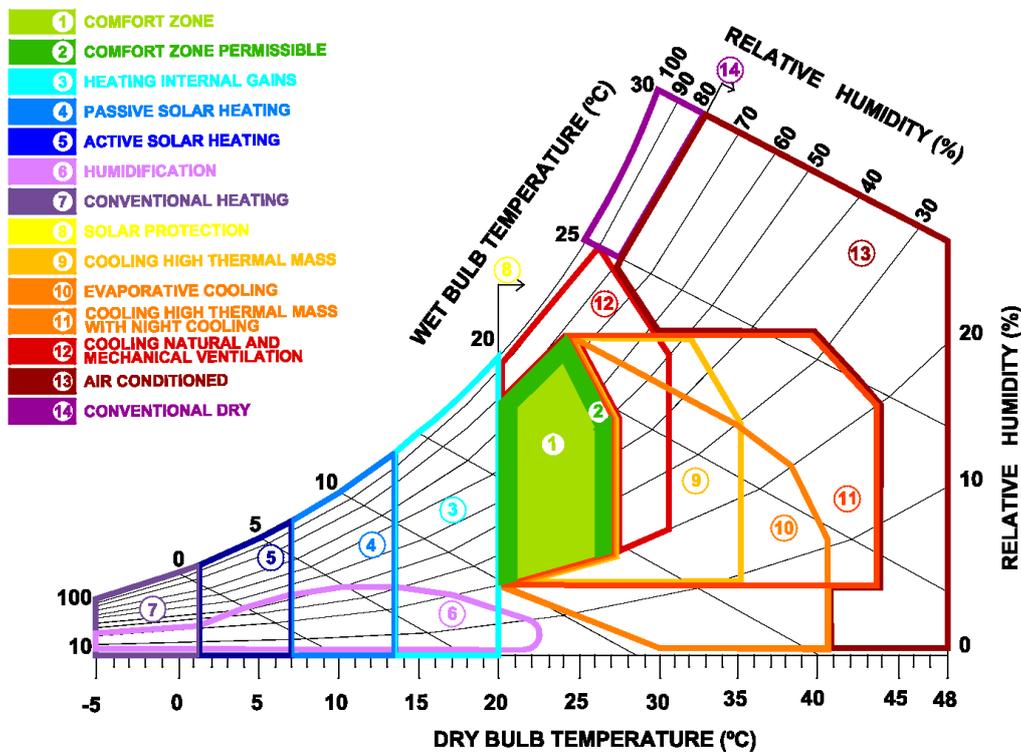


Figure 1–13: Tableau psychrométrique adapté de Givoni (Givoni 1992 ; Manzano-Agugliaro et al. 2015)

Finalement, il est à noter que différents diagrammes bioclimatiques sont utilisés également comme outils afin de déterminer les niveaux du confort, comme les diagrammes développés par Olgyay (1963) et Olgyay (1967); et le diagramme de Givoni (1992). Les détails sur la méthode de Givoni et celle d'Olgyay sont explicités dans l'étude de Fernández (1994) et le mémoire de magistère de Boulfani (2010).

## Conclusion

En conclusion, nous pouvons déduire d'après la synthèse bibliographique que nous avons utilisé dans ce premier chapitre que l'état du confort des habitants envers leurs environnements thermiques dépend de l'interaction entre plusieurs facteurs physiques, physiologiques et psychologiques. De ce fait, nous avons constaté que (i) l'approche rationnelle et (ii) l'approche adaptative sont les deux grandes approches les plus utilisées par les chercheurs du domaine de l'architecture afin d'évaluer le confort thermique dans les environnements bâtis.

Par ailleurs, nous avons trouvé dans la littérature scientifique que les chercheurs ont élaboré plusieurs indices afin d'évaluer le niveau du confort thermique des occupants. Dans cette perspective, nous avons exposé le développement historique des indices d'évaluation du confort thermique dans une période de 113 ans, de l'indice de la théorie du transfert de la chaleur élaboré en 1897, jusqu'à l'indice de dépassement  $M$  présenté en 2010.

Finalement, et après avoir donné un aperçu sur le confort thermique des habitants, nous allons traiter dans le prochain chapitre le confort lumineux et la lumière naturelle dans les environnements bâtis en général et plus précisément dans les milieux résidentiels

**Chapitre 2 :**  
**Lumière naturelle et confort lumineux**

## Chapitre 2: Lumière naturelle et confort lumineux

*«For Holl, architecture is the science of experience...Light is not itself the plenum of matter, but rather what reveals and conveys it, like water in the paper into which pigment is placed».*

*Steven Hol (Holl, 2011)*

### Introduction

À travers le premier chapitre, nous avons pu identifier de manière précise le confort thermique intérieur, nous avons traité d'une manière détaillée ces différentes approches, méthodes et indices d'évaluation dans les milieux d'habitation.

Après, nous allons mettre en évidence, dans ce deuxième chapitre l'importance du confort lumineux. Dans cette perspective, nous allons définir d'une manière générale le terme du confort lumineux et la satisfaction visuelle des habitants, la lumière naturelle, l'ergonomie visuelle, la tâche visuelle, la visibilité et la performance visuelle.

Ensuite, nous allons examiner d'une manière détaillée les indices d'évaluation quantitative et qualitative du confort lumineux, les indices d'évaluation de la répartition de la lumière, les indices d'évaluation de l'éblouissement, les indices d'évaluation de la qualité de la lumière et à la fin de ce chapitre nous allons traiter des méthodes et outils d'évaluation du confort lumineux disponibles dans la littérature scientifique de l'architecture.

### 2.1. Confort lumineux et satisfaction visuelle

Dans la norme européenne EN12665 (2011), le confort lumineux est défini comme une condition subjective du bien-être visuel induite par l'environnement visuel (Carlucci, Causone, et al. 2015 ; Castilla et al. 2014). À partir de cette définition, Frontczak et Wargocki (2011) ont déduit que malgré qu'il existe un composant psychologique dans la sensation du confort lumineux, certaines propriétés physiques de l'environnement lumineux peuvent être utilisées afin d'évaluer ce confort d'une manière objective (Frontczak et Wargocki 2011).

D'après l'Association Française de l'Éclairage (AFE), le confort lumineux est une impression subjective de satisfaction du système visuel principalement procurée par l'absence

de gêne induite par l'ensemble de l'environnement lumineux (AFE 1995). De son côté, Narboni (2006) a défini ce concept comme les bonnes conditions de vision, avec l'absence de l'éblouissement (Narboni 2006).

Par ailleurs, Xue, Mak et Cheung (2014) indiquent que ce concept peut être défini comme la satisfaction des gens à l'environnement lumineux, tel qu'évalué par les occupants (Xue, Mak et Cheung 2014). Dans Berkouk (2014): « *le confort lumineux est un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement lumineux selon la quantité et la qualité de l'éclairage* » (Berkouk 2014). Dans le même ordre d'idée, Floru (1996) souligne que ce terme se réfère à l'évaluation subjective d'un environnement qui permet de réaliser n'importe tâche visuelle naturellement tout au long de la période nécessaire pour achever cette tâche (Floru 1996). Dans cette perspective, la définition actuelle du confort lumineux réside dans (i) la satisfaction du système visuel et (ii) à l'absence d'éblouissement, comme le confirment les chercheurs de l'AFE (1995).

Le terme satisfaction visuelle est aussi utilisé pour décrire l'acceptabilité de l'environnement lumineux par l'occupant, comme le souligne Floru (1996). Dans les études du confort lumineux, le niveau de satisfaction à l'égard de la lumière naturelle devrait être la considération primordiale (Xue, Mak and Cheung, 2014). De plus, il est à noter que la satisfaction est soumise à (i) l'environnement lumineux et (ii) des préférences personnelles. Pour l'environnement lumineux Carlucci, Cattarin, et al. (2015) certifient que le confort lumineux a été étudié généralement par l'évaluation de quatre aspects qui caractérisent la relation entre les besoins humains (habitant) et l'environnement lumineux, tels que :

- La quantité de la lumière ;
- L'uniformité de la lumière dans un espace ;
- Le risque d'éblouissement pour les occupants ;
- La qualité des sources lumineuses artificielles dans le rendu des couleurs.

À ce sujet, une étude détaillée des indices d'inconfort visuel abordant ces quatre aspects est présentée dans l'étude de Carlucci, Causone, et al. (2015). Ces auteurs montrent que le confort lumineux dépend de la physiologie de l'œil humain, des quantités physiques décrivant la quantité de lumière et de sa distribution dans l'espace, et de l'émission spectrale de la source lumineuse.

En effet, une bonne visibilité est une condition essentielle, mais pas suffisante pour réaliser des tâches d'une manière facile et confortable (Floru 1996). Le confort est le résultat de l'interaction entre tous les sens (Dubois, Demers and Potvin, 2007). À ce sujet, l'expérience de la vue séparée des autres sens est purement théorique puisque chaque sens est complémentaire et non dissociable des autres (Izard and Oliv, 1998). De cela, il est à noter que l'action qui consiste à rassembler toutes les conditions pour un confort lumineux n'assure pas automatiquement le confort des occupants, surtout lorsqu'un autre composant gênant de l'ambiance comme une mauvaise odeur ou une température ambiante non agréable ou lorsque l'occupant effectue une certaine tâche (Dubois *et al.*, 2009).

Dans le domaine de l'éclairage les chercheurs considèrent que le confort lumineux est influencé par des facteurs architecturaux et humains (Parpairi, 2004), comme la vue vers l'extérieur, la diversité des conditions lumineuses, le degré de contrôle perçu et la liberté de mouvement pour éviter ou limiter l'impact négatif d'un facteur de stress environnemental (Dubois *et al.*, 2009).

## 2.2. Lumière naturelle

La lumière naturelle est une question importante dans l'architecture moderne comme l'affirme (Li, Cheung et Lau, 2006), et même dans l'architecture contemporaine, notamment dans les milieux résidentiels.

En effet, la lumière naturelle est la totalité du rayonnement visible provenant du soleil et du ciel (Mardaljevic 2012). À ce sujet, Oki et Onai (1994) déclarent qu'elle se compose de la lumière du ciel, du faisceau du soleil et des reflets du sol et des choses qu'ils illuminent.

En outre, la lumière naturelle permet la vision, puisqu'elle permet aux êtres humains d'identifier les objets dans l'espace. La lumière ainsi a une grande influence sur les occupants, comme le soutiennent (Bellia et al. 2015), car elle permet à ces occupants de discerner la forme, la couleur et la perspective des différents objets dans certains environnements (Guasch et al. 2001), la lumière est aussi un élément très important (Castilla et al. 2014). Cependant, elle est liée à une série d'effets, connus sous le nom de réponses non visuelles (Bellia et al. 2015) qui incluent par exemple, la suppression de la mélatonine, la fréquence

cardiaque et les variations du niveau de vigilance, comme argumenté par Cajochen et al. (2005) et Lucas et al. (2014).

En fait, la lumière naturelle répond à nos besoins biologiques en matière d'information visuelle (Lam 1972). Pourtant, qu'il existe certains autres facteurs tels que l'humeur des utilisateurs (Heschong 2002 ; Boyce, Hunter et Howlett 2003 ; Stevens et al. 2007 ; Duffy et Czeisler 2009 ; Bellia, Pedace et Fragliasso 2015), les préférences et les jugements esthétiques (Veitch 2001) qui influent également sur le confort. Néanmoins, ces effets ne sont pas des exigences directes dans la conception du bâtiment. D'autre part, la lumière naturelle prend des avantages importants en tant que bien-être psychologique, santé des yeux, rendus des couleurs et en matière d'économie de l'énergie (Wu et Ng 2003). À ce sujet, Bref et Annet (2008) soulignent que l'éclairage naturel revêt une importance aussi bien physiologique qu'énergétique (Bref et Annet 2008).

De ce fait, Li et Lam (2000) attestent que la lumière est considérée comme un facteur important dans la conception de l'intérieur, l'aménagement fonctionnel des espaces, le confort des occupants (visuels et thermiques), voir la figure 2\_1, la structure et la consommation d'énergie dans les bâtiments. La lumière du jour reçoit une considération accrue en tant que source lumineuse pour les bâtiments (Ranasinghe et Mistrick 2003). Où, la maximisation de l'accès à la lumière du jour peut conduire à une réduction de l'utilisation de l'éclairage électrique, ce qui réduit les consommations énergétiques (Mardaljevic, Heschong et Lee 2009). Néanmoins, elle peut également provoquer en même temps un réchauffement et/ou une surchauffe si elle n'est pas été contrôlée correctement (Bellia, Pedace et Barbato 2014). Cependant, une conception correcte de la lumière du jour doit prendre en considération les mesures nécessaires pour contrôler le niveau d'éclairage et l'uniformité sur le plan de travail, les ratios de luminance, l'éblouissement (Wu et Ng 2003) et le contact vers l'extérieur, comme l'ajoutent Bellia, Cesarano et Spada (2005).

Une synthèse de tout ce qui précède, nous permet de déduire que l'illumination de la lumière du jour est l'un des éléments les plus importants que comprend l'environnement lumineux en plein jour tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du bâtiment (Oki et Onai 1994). À ce titre, Dubois et al. (2009) indiquent que le choix de la lumière du jour pour un espace intérieur représente une décision durable, car les diverses ambiances lumineuses produites répondent

naturellement aux différentes attentes des nombreuses personnes recherchant un endroit confortable dans un espace architecturale, notamment dans les milieux internes d'habitation.

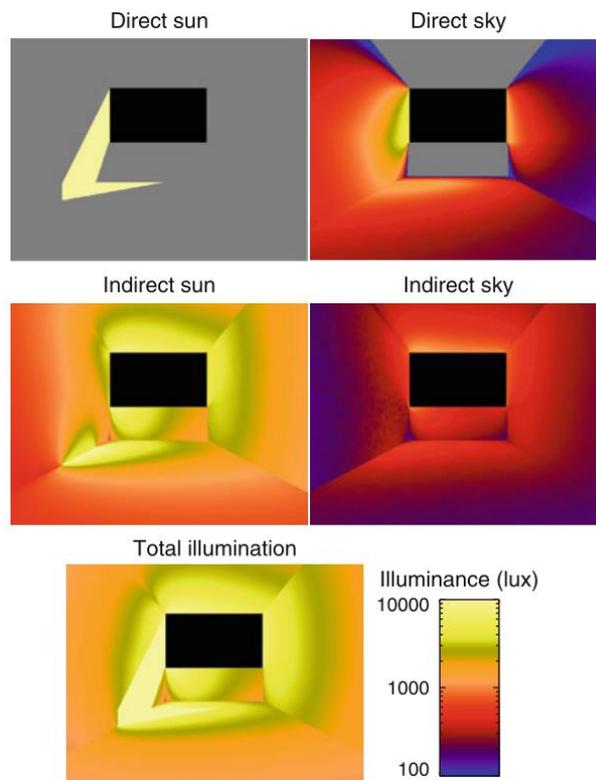


Figure 2–1: Composants d'éclairage pour un simple espace (Mardaljevic 2012)

D'après Bellia, Pedace et Barbato (2014), l'importance de la disponibilité de la lumière naturelle dans les environnements intérieurs a été soulignée par de nombreuses études durant ces dernières années (Bellia, Pedace et Barbato 2014), citant à titre d'exemple l'étude de Leather et al. (1998); Boubekri, Hull et Boyer (1991); Farley et Veitch (2001); Mardaljevic, Hescong et Lee (2009); et l'étude de Choi, Beltran et Kim (2012).

D'autre part, la quantité insuffisante de lumière naturelle dans les environnements bâtis est concédée comme un problème complexe pour plusieurs raisons, comme le présentent Bellia, Pedace et Barbato (2014). À ce sujet, Mardaljevic (2012) assure que dans les espaces où la lumière du jour est une source primaire d'éclairage, la quantité et la qualité de la lumière naturelle dans les bâtiments varient continuellement en raison des changements naturels dans les conditions du soleil et du type de ciel d'un moment à l'autre (Mardaljevic, 2012). En outre, la position du soleil est intrinsèquement liée à la latitude et au temps. De ce fait, le type de ciel est sensible aux conditions climatiques et aux variations

atmosphériques qui produisent des compositions diverses de la lumière et de l'ombre (Rockcastle, Ámundadóttir et Andersen 2016).

### 2.3. Ergonomie visuelle

En premier lieu, l'objectif de l'ergonomie visuelle dans le contexte « éclairage et vision » consiste d'une part à adapter l'environnement lumineux aux capacités visuelles de l'occupant, d'une autre part, il vise à épargner un effort superflu au système visuel (Floru 1996). Dans la littérature scientifique de l'architecture, ce concept a été largement étudié dans les espaces de tertiaire. Dans cette optique, nous invitons les lecteurs à consulter les ouvrages de Anshel (2002), de Anshel (2005) et de Anshel (2007) pour plus de détail à ce sujet. Par analogie, le but principal de l'ergonomie des espaces résidentiels est d'assurer un effort superflu en adaptant l'activité de l'habitant (regardez, lire, cuisinier, ménager...etc) avec ces capacités, où une ambiance lumineuse inadéquate peut devenir comme une source de fatigue et d'inconfort lumineux des habitants accompagnés par des effets négatifs sur la sécurité, la santé et l'efficacité de ces habitants.

### 2.4. Tâche visuelle

Dans le langage conventionnel, Floru (1996) confirme que le terme voir « *c'est percevoir l'image des objets de l'environnement par l'intermédiaire de l'œil* » (Floru 1996). De plus, cet auteur signale également que sur la perspective psychophysiologique, voir c'est de reconnaître et comprendre la signification de n'importe quel objet qui se situe dans l'espace. Pour les milieux résidentiels, voir donc signifie que l'habitant est capable d'utiliser son information visuelle afin d'exécuter n'importe quelle tâche domestique, où l'habitant reconnaît chaque élément de sa salle de séjour situé dans son champ de vision, comme (télévision, sofas, cadre, ordinateur... etc.) sans faire des efforts visuels afin d'achever une activité visuelle comme : regarder, lire, écrire...etc. De même, Narboni (2006) signale que la tâche visuelle est une activité visuelle à achever dans une période bien précise et sous certaines exigences données (Narboni 2006). D'autre part, Floru (1996) déclare que ce terme désigne en grosso modo, les objets et les détails qui doivent être vus par l'occupant afin d'achever une certaine activité dans un espace architectural.

## 2.5. Visibilité et performance visuelle

Généralement, le terme visibilité ou performance visuelle définit l'appréciation qualitative de la facilité, de la rapidité et de la précision de l'œil, par lesquelles un objet peut être détecté et reconnu visuellement par l'occupant (Narboni 2006). Ce terme définit donc la qualité de l'objet détecté par l'œil, comme le soutiennent Floru (1996). À ce sujet, le terme visibilité est utilisé pour évaluer la facilité/la difficulté de détecter et de reconnaître le détail le plus fin d'une tâche visuelle de l'occupant, comme indiquent les chercheurs de (CIE146-147, 2002). En outre, Carlucci, Causone, et al. (2015) expriment qu'une bonne visibilité est définie par la présence d'une quantité suffisante de lumière permettant à un occupant d'accomplir ses tâches (Carlucci, Causone, et al. 2015).

## 2.6. Environnement lumineux

Du point de vue architectural, selon les chercheurs de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), la conception correcte de la lumière naturelle doit prendre les mesures nécessaires pour contrôler le niveau de l'éclairement et de l'uniformité d'éclairement, les ratios de la luminance, de l'éblouissement et du contact avec l'extérieur (CIE 1986 ; CIE117 1995). Dans le même ordre d'idée, Floru (1996) signalent le fait que les facteurs de l'environnement lumineux des espaces architecturaux qui ont un impact sur la visibilité de la tâche visuelle sont l'éclairement et le contraste, ceux qui participent au confort lumineux concernent les trois paramètres suivants : (i) l'équilibre des luminances dans le champ de vision, (ii) l'absence de l'éblouissement et (iii) l'absence de la réflexion.

D'autre part, et afin de décrire, un environnement lumineux, Fernandez (2012) a cité dans sa thèse de doctorat quatre descriptions principales qui sont :

- La description de l'environnement extérieur au bâtiment de (Kaplan 1987) ;
- La description de l'environnement intérieur de (Küller et Lindsten 1992) ;
- La description de l'environnement lumineux de (Flynn 1977) ;
- La description de l'atmosphère de (Vogels 2008).

### 2.6.1. Grandeurs photométriques

Dans le domaine de physique qui traite de la mesure des grandeurs liées aux rayons lumineux, les chercheurs spécialisés considèrent qu'il existe quatre grandeurs photométriques principales qui sont : (i) l'éclairement (ii) la luminance (ii) le flux lumineux (iv) et l'intensité lumineuse, comme l'illustre la figure 2\_2.

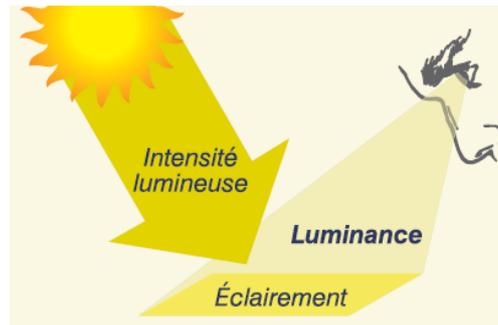


Figure 2–2: Représentation de l'éclairement, de la luminance et de l'intensité la luminance (Liébard et De Herde 2005)

#### 2.6.1.1. Eclairement

En fait, l'éclairement d'une surface est un indice d'évaluation du confort lumineux, il est défini comme le rapport du flux lumineux total reçu par une surface (Mardaljevic 2012), voir la figure 2\_2. C'est le flux lumineux total incident sur une surface par une surface éclairée (Köster 2013). Cette définition, référencée sur la surface éclairée et le flux lumineux sur toute la gamme des longueurs des ondes lumineuses, est indépendante du type et des caractéristiques de la (des) source (s) lumineuse (s). L'éclairement est ainsi utilisé pour construire une métrique locale et à court terme par l'évaluation de la quantité de la lumière avec un critère à un seul (tailed), comme l'attestent Carlucci, Causone, et al. (2015). Par ailleurs, les aspects quantitatifs de la lumière sont fortement liés avec la photométrie (Kottas, 2013). D'après Liébard et De Herde (2005), l'éclairement dépend de quatre (4) exigences, qui sont : (i) l'intensité de la lumière, (ii) la source lumineuse, (iii) la distance entre la source et la surface éclairée, et (iv) l'inclinaison de la surface éclairée par rapport aux rayons lumineux. L'unité de l'éclairement est le lux, équivalent à 1 lumen par mètre carré. L'éclairement a été défini également comme « une *grandeur très difficilement perceptible par l'œil humain* » (Liébard et De Herde 2005), c'est une mesure de l'intensité de la lumière incidente, de la longueur d'onde pondérée par la sensibilité de l'œil pour corrélérer avec la perception de la luminosité humaine (Mardaljevic 2012).

De leur côté, Carlucci, Causone, et al. (2015) confirment qu'il existe plusieurs seuils d'éclairage optimal qui sont proposés par les chercheurs pour les différentes typologies de bâtiments et les différents types d'utilisation des espaces architecturaux (Carlucci, Causone, et al. 2015). Dans une utilisation de bureau typique, la plupart des auteurs suggèrent une valeur de référence de 500 lux évaluée sur le plan de travail, comme l'indiquent Lee and Selkowitz (2006) et Tzempelikos et Athienitis (2007), tandis que d'autres considèrent que le 425 lux est suffisant selon Franzetti, Fraisse et Achard (2004), ou même 300 lux selon (David et al. (2011)). D'autre part, ces valeurs d'éclairage sont optimales pour les milieux d'habitations pour certaines tâches comme la lecture, de se barder, regarder le TV, travailler sur ordinateur, tablette, portable...etc. Par contre, on peut les considérer comme des valeurs inconfortables dans certaines tâches comme dormir, ou se reposer...etc., où l'habitant a besoin d'occulter son séjour de l'environnement extérieur afin de rendre un environnement intérieur sombre pour qu'il soit dans un état confortable.

#### **2.6.1.2. Luminance**

En fait, la luminance est généralement définie comme la grandeur qui indique le flux d'une source lumineuse qui se propage dans une direction précise divisée par la surface de cette source dans cette même direction (Kottas 2013), figure 2\_2. D'autre part, la luminance nous permet d'évaluer l'éblouissement parce qu'elle est un outil de quantification de l'impression acquise par les yeux d'un habitant qui regarde une source lumineuse ou une surface éclairée d'une manière directe et dans une certaine direction (Narboni 2006). À ce titre, Mardaljevic (2012) assure qu'elle décrit la quantité de lumière qui traverse ou qui est émise dans une zone particulière et tombe dans un angle solide donné (Mardaljevic 2012). La luminance d'une surface dépend de la nature de la surface et des conditions atmosphériques (Narboni 2006). Par ailleurs, il est à noter que la luminance varie selon la position de l'observateur (l'habitant). Elle s'exprime en candelas par mètre carré comme le montre la figure 2\_3.

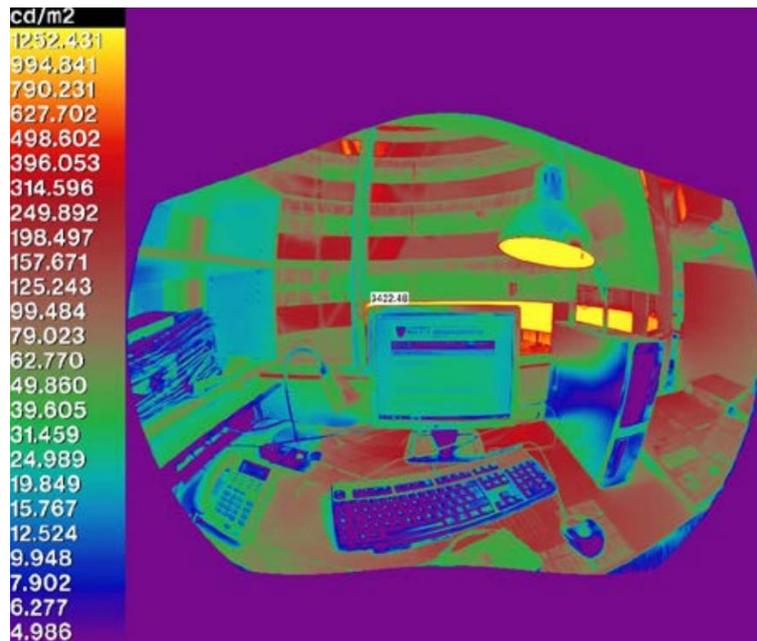


Figure 2–3: Cartographie de la luminance (Hirning, Lim et Reimann 2016)

D'autre part, Suk, Schiler et Kensek (2013) signalent que l'identification de la valeur de luminance absolue optimale des sources d'éblouissement est considérée comme la problématique la plus critique lors de la tentative de fixation d'une valeur supérieure limite du facteur d'éblouissement pour une scène d'éblouissement particulière (Suk, Schiler et Kensek 2013).

D'après Carlucci, Causone, et al. (2015), il n'existe aucun accord général sur ces valeurs limites supérieures, d'où:

- Dubois (2001) a proposé que la zone optimale varie seulement entre 500 et 2000  $\text{cd}/\text{m}^2$ , sachant que cette zone peut doubler si la source d'éblouissement est la lumière naturelle. (Dubois 2001)
- Wienold et Christoffersen (2006) ont proposé les valeurs 2000, 4000 et 6000  $\text{cd}/\text{m}^2$  respectivement comme seuils pour les zones «acceptable», «juste inconfortable» et «éblouissement intolérable». (Wienold et Christoffersen 2006)
- Suk, Schiler et Kensek (2013) ont proposé également les valeurs 3200, 5600 et 10000  $\text{cd}/\text{m}^2$ , respectivement pour les mêmes trois catégories «acceptable», «juste inconfortable» et «éblouissement intolérable». (Suk, Schiler et Kensek 2013)

### 2.6.1.3. Flux lumineux

Le flux lumineux est défini par Köster (2013) comme la puissance rayonnée émise par une source lumineuse ou l'incidence de la puissance rayonnée sur une surface (Köster 2013). Dans les espaces d'habitation, généralement les sources lumineuses sont les lampes et le soleil ou les surfaces réfléchissantes intérieures (parois, plafond, table...etc.), ou extérieures (bâtiment, la terre, dispositif extérieur de la fenêtre...etc.). D'autre part, Kottas (2013) certifie que « *cette grandeur est mesurée en lumen (lm) qui peut être défini comme le flux émis dans un stéradian par un point de lumière, qui émet uniformément une lumière dans toutes les directions dans l'espace* » (Kottas 2013).

### 2.6.1.4. Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse peut être définie comme le flux lumineux directionnel d'une source lumineuse (Köster 2013), voir la figure 2\_4. De même, Liébard et De Herde (2005) ont défini également ce terme comme l'émission du flux lumineux dans une direction précise dans l'espace par unité d'angle solide (Liébard et De Herde 2005). D'autre part, l'intensité lumineuse est utilisée généralement pour les calculs de l'éclairage ponctuel d'un point dans l'espace, sachant qu'elle s'exprime en candelas. En outre, Narboni (2006) signale qu'elle quantifie le faisceau de lumière naturelle ou artificielle émis, complémentaire de la direction d'émission. Selon le même auteur, l'intensité lumineuse est définie comme : « *le quotient entre le flux lumineux élémentaire abandonnant la source et l'angle solide élémentaire dans lequel il se propage* ».

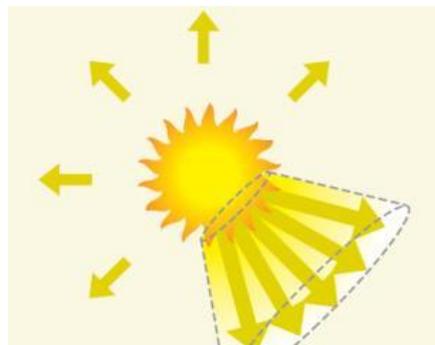


Figure 2–4: Représentation de l'intensité lumineuse (Liébard et De Herde 2005)

### 2.6.2. Quantité de la lumière

En effet, l'inconfort lumineux peut être causé par un niveau de la lumière trop bas ou trop élevé (Carlucci, Causone, et al. 2015). Dans les salles de séjour, le niveau de lumière trop élevé peut être dû à l'inconfort lumineux dans toutes les tâches visuelles de cette espace, car elle s'accompagne généralement par un éblouissement. Par contre, quand le niveau de la lumière est très bas peut devenir comme un élément très important pour certain habitant dans des moments bien donnés comme la durée comprise entre 13h et 15h qui est considérée comme de la durée qui concerne la période de sieste pour les habitants de la ville de Biskra en été. La mesure quantitative de l'éclairement peut être réalisé d'une manier ponctuelle pour les mesures in situ par exemple, ainsi au niveau de quelques logiciels de simulation, ou bien peut être effectué d'une manière annuelle par l'utilisation de certains indices. À ce sujet, Carlucci, Causone, et al. (2015) affirment que le calcul des indices est lié à l'éclairement nécessaire par l'utilisation des données météorologiques annuelles afin d'offrir une évaluation instantanée ou agrégée dans le temps (Carlucci, Causone, et al. 2015).

### 2.6.3. Uniformité de lumière

L'uniformité de la lumière est considérée comme l'indice clé de l'évaluation de la répartition de la lumière. Elle décrit la façon de la lumière qui se propage uniformément sur une zone de tâches (Carlucci, Causone, et al. 2015). D'après les mêmes auteurs, et dans un point de vue physique, l'uniformité de la lumière représente la rendue avec d'éclairement uniformité sur une zone de tâche donnée (Carlucci, Causone, et al. 2015). En fait, la lumière naturelle excessive peut impliquer un niveau d'éclairage trop élevé ou un environnement lumineux non uniforme, comme argumenté par (Bellia et al. 2008). L'auteur, Narboni (2006) atteste que « *Actuellement, qu'un certain nombre de logiciels ont été développés pour calculer les éclairements ponctuels et moyens, les luminances ponctuelles et moyennes, les uniformités et les courbes iso lux par un logiciel adapté à la photométrie de ses luminaires* » (Narboni 2006). Elle correspond à l'éclairement minimal d'une surface donnée divisé par l'éclairement moyen de cette surface, sachant que la valeur de l'uniformité de la lumière est toujours inférieure à 1.

Bien que l'uniformité de la lumière soit un paramètre utile pour décrire un environnement lumineux donné, cet indice n'est pas vraiment représentatif du niveau du confort lumineux des habitants pour certaines activités visuelles, contrairement à la logique

des milieux biotiques. D'autre part, et d'un point de vue architectural, les espaces orientés vers le nord sont des espaces qui rendent une distribution uniforme de la lumière dans ces espaces, de cela, cette orientation est dite l'orientation des artistes, où on peut remarquer une absence presque totale de l'ombre gênante.

#### 2.6.4. Éblouissement et contraste

L'éblouissement est un problème très connu dans les environnements bâtis, surtout dans régions sahariennes. Cependant, très peu de recherches ont été menées sur l'éblouissement dans les milieux purement sahariens. L'éblouissement est un phénomène lumineux qui provoque des difficultés de vision pour les occupants d'un environnement lumineux dû à un éclairage artificiel ou naturel trop lumineux (Carlucci, Causone, et al. 2015). À ce titre, ce concept peut être défini comme la sensation produite par la luminance dans le champ visuel qui est suffisamment supérieure à la luminance dans laquelle les yeux sont adaptés afin de provoquer des ennuis, des gênes ou des pertes de performance visuelle et de visibilité (IESNA 2000).

En outre, l'éblouissement peut se produire lorsque la quantité de lumière atteignant les yeux de l'observateur est excessive ou lorsqu'un observateur rencontre une gamme trop grande de luminance dans un champ visuel donné (Carlucci, Causone, et al. 2015).

À ce sujet, Vos (2003) signale qu'il existe deux différents types d'éblouissement: (i) l'éblouissement de l'incapacité, et (ii) l'éblouissement de l'inconfort (Vos 2003). Où, l'éblouissement d'inconfort représente le phénomène qui provoque une perturbation qui ne trouble pas nécessairement la vue « perturbation des conditions de vision »; tandis l'éblouissement d'incapacité indique la perturbation qui trouble la vue (Narboni 2006). Dans la même perspective, les chercheurs dans la littérature d'architecture assurent que :

- L'éblouissement de l'incapacité (l'éblouissement physiologique consiste à diminuer rapidement la performance visuelle et l'incapacité de voir des objets donnés et la quantité excessive de lumière (Carlucci, Causone, et al. 2015). Tandis que Bellia, Cesarano et Spada (2005) confirment que l'éblouissement de l'incapacité est l'effet de masquage causé par la lumière dispersée dans le milieu oculaire qui produit une luminance trop élevée sur le champ de vision.

- L'éblouissement de l'inconfort (l'éblouissement psychologique) est le contraste excessif entre les parties éclairées et obscures du champ visuel qui provoque une dégradation progressive de la performance visuelle et conduit à une fatigue prématurée des yeux avec un début ultérieur d'une sensation inconfortable ou d'autres symptômes tels que le mal de tête (Osterhaus 2005). De même, Bellia, Cesarano et Spada (2005) montrent que l'éblouissement de l'inconfort est l'effet lourd de distraction des sources de la lumière périphériques dans le champ de vision.

Néanmoins, Reinhart et Wienold, (2011) signalent que l'éblouissement de l'incapacité dans les espaces intérieurs éclairés est relativement facile à identifier (Reinhart et Wienold, 2011), tandis que l'éblouissement de l'inconfort est un phénomène subjectif plus subtil et étroitement lié à la satisfaction globale d'une personne à son environnement lumineux.

D'autre part, Köster (2013) a classé les types d'éblouissement en trois catégories comme suit :

- L'éblouissement direct : où, le soleil se situe dans le champ de vision immédiat de l'occupant ;
- L'éblouissement de fond : la présence d'un contraste de luminosité entre l'écran et l'arrière-plan du moniteur ;
- L'éblouissement réfléchi : la présence de l'effet de miroir sur la surface du moniteur.

La plupart des indices liés à l'éblouissement visent à évaluer la sensation inconfortable des occupants (Carlucci, Causone, et al. 2015). Parfois, l'évaluation de l'éblouissement n'est pas simple, car les indices les plus traditionnels pour le confort lumineux rencontrent des difficultés à des niveaux de luminance extrêmes ou à l'évaluation de grandes sources de lumière ou de sources non montées près du plan de plafond, tels que les fenêtres verticales, comme l'affirme Osterhaus (2005).

Fondamentalement, les indices d'évaluation de l'éblouissement sont calculés avec des équations qui corrélaient les valeurs de luminance, ou les distributions de luminance dans le champ de vision de l'observateur, et la sensation d'éblouissement humain. Ils ont été développés traditionnellement par des expériences de laboratoire avec des sources d'éblouissement artificiel et naturel (Wienold et Christoffersen 2006).

Selon Andersen et al. (2008), une prédiction fiable de l'éblouissement avec des indices pose toujours des défis importants dans la conception du bâtiment, car il dépend fortement de:

- La position de l'observateur ;
- La tolérance à l'éblouissement varie selon l'individu ;
- L'arrière-plan ;
- La capacité à s'adapter à l'environnement lumineux ;
- La gamme de luminance évaluée peut être très large. (Andersen et al. 2008)

Par ailleurs, et selon Erell, Kaftan et Garb (2014), l'inconfort lumineux causé par une lumière excessive est appelé «éblouissement», est défini par la CIE comme la condition de vision dans laquelle il y a un inconfort ou une réduction de la capacité de voir des détails ou des objets, causés par une distribution ou une gamme inadéquate de luminance, ou des contrastes extrêmes.

À ce titre, le contraste ou l'éblouissement de la luminosité sont des risques d'éblouissement en lumière naturelle (Köster 2013). Car si les sources potentielles d'éblouissement couvrent une partie importante du champ visuel de l'observateur, l'adaptation de l'œil à une luminance plus élevée réduit la sensation d'éblouissement et l'effet de contraste (Erell, Kaftan et Garb 2014).

### **2.6.5. Qualité de la lumière**

Signalons que l'homme contemporain passe la plupart de son temps dans les espaces intérieurs. Selon plusieurs études antérieures Hopkinson, Petherbridge et Longmore (1966); Plympton, Conway et Epstein (2000); Nazzal (2005); Kim, Kim et Kim (2011), les gens préfèrent la lumière naturelle comme source principale de l'éclairage dans les espaces de vie et de travail. Cela implique de grands avantages pour la santé, le bien-être des occupants, en impliquant des aspects perceptifs, physiologiques, psychologiques et économiques, comme le soutiennent Cantin et Dubois, (2011) et Sapia (2013).

D'autre part, et d'après Carlucci, Causone, et al. (2015), la lumière naturelle est généralement préférée pour plusieurs raisons :

- Elle améliore la satisfaction des travailleurs et donc aussi leur productivité (Nazzal 2005).
- Elle permet une meilleure qualité lumineuse en termes de la propriété du rendu de couleurs (Sapia 2013).
- Elle se caractérise par l'évolution de l'intensité, de la direction et même de la couleur, ainsi que les caractéristiques de la lumière naturelle relient les personnes aux heures du jour (diurne) (Kim, Kim et Kim 2011).
- Son utilisation permettrait de réduire la consommation électrique de l'éclairage artificiel (Cantin et Dubois 2011 ; Bellia et al. 2008).
- La lumière artificielle n'est pas capable de reproduire ni le spectre, ni la variabilité instantanée de la lumière du jour (McColl et Veitch 2001).

Finalement, il faut noter que plusieurs indices dévaluation de la qualité de la lumière naturelle ont été développés par les chercheurs de ce domaine, nous allons les traiter dans le présent chapitre.

## 2.7. Œil et vision

Selon Floru (1996), le champ visuel est l'espace pécué en situation immobile de la tête et des yeux et il détermine la capacité de localisé les stimuli visuels dans un espace donnée (Floru 1996). De son côté, Narboni (2006) assure que le champ visuel peut être défini comme : « *une étendue angulaire des directions de l'espace dans laquelle un objet peut être perçu lorsque la tête est immobile, il est défini par portée verticale de l'œil (140°) et le champ horizontal de vision (180°)* » (Narboni 2006). De même, Floru (1996) montre également que les obstacles anatomiques (nez, orbite) limitent le champ visuel de l'occupant, sachant que le champ visuel monoculaire s'étend entre de point central de fixation et le point 90° du côté extérieure (temporal), le 60° intérieur (nasal), 70° inférieurs et 50° supérieurs.

En vision binoculaire typique du champ de vision, les deux champs dans le coté central provoque un recouvrement partiel (Floru 1996), comme la montre la figure 2\_5, où Demers (1998) avence que :

- Le point (a) c'est la vision fovéale (représenté par la couleur noire).

- La zone (b) c'est la surface de vue simultanément par les deux yeux (représenté par en gris foncé).
- La zone (c) c'est la surface de vue par l'œil gauche seulement (représenté par en gris clair).
- La zone (d) c'est la surface de vue par l'œil droite seulement. (Demers 1998)

Tandis que la zone représentée par la couleur blanche dans la figure 2\_5 est la zone masquée par les deux yeux (Fontoynt, Perraudeau et Avouac 2011).

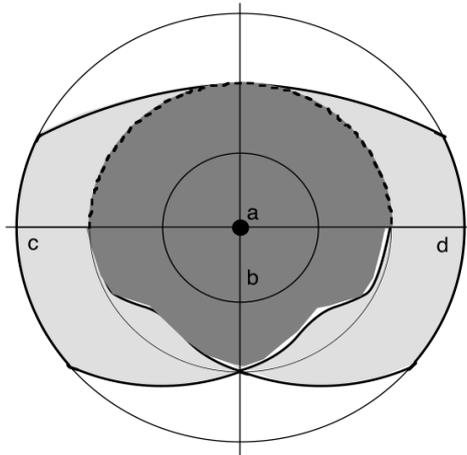


Figure 2–5: Vision binoculaire typique du champ de vision (Demers 1998)

Le diamètre angulaire du champ visuel binoculaire est d'environ  $180^\circ$  à l'horizontale et d'environ  $120^\circ$  en situation verticale (Floru 1996), comme la montre la figure 2\_6. La figure 2\_6, présenté par Demers (1998) illustre également que le champ visuel fonctionne comme suit :

- (a) c'est la vision fovéale, une zone de vision distincte et nette qui s'élargit du point de fixation à  $5^\circ$  ;
- (b) c'est le champ de proximité, défini comme une zone moyenne avec un angle de vision de  $5^\circ$  à  $30^\circ$ , où les objets ne sont pas nets, mais sont remarqués lorsqu'ils sont très contrastés ;
- (c) c'est le champ du périmètre, qu'on peut le décrire comme une zone externe avec un angle de vision de  $30^\circ$  à  $70^\circ$ , où l'œil ne distingue que les objets mouvementés. (Demers 1998)

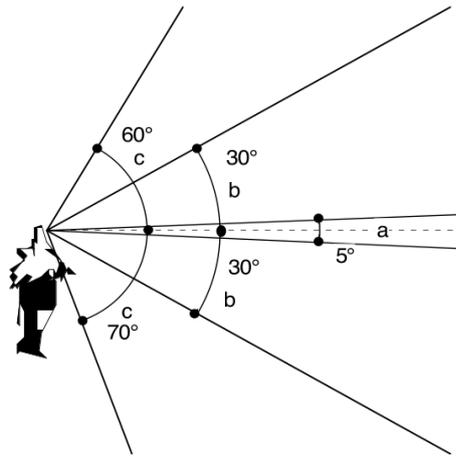


Figure 2–6: Champ du vision: (a); (b); (c) (Demers 1998)

## 2.8. Indices d'évaluation du confort lumineux

De nos jours, la pratique du design repose toujours sur le facteur de lumière du jour (FLJ/DF) en tant qu'indicateur de performance à la lumière naturelle d'un espace bâti, comme le certifie (Waldram 1950). Néanmoins, plusieurs études récentes ont mis en évidence sa faiblesse, citant à titre d'exemple l'étude de Reinhart, Mardaljevic et Rogers (2006), l'étude de Nabil et Mardaljevic (2006), et celle de Bellia, Pedace et Barbato (2014). Par conséquent, d'autres indicateurs de performance ont été proposés, tels que l'éclairage naturel utile (UDI) (Nabil et Mardaljevic, 2005, 2006), l'autonomie de jour (DA) de Reinhart et Walkenhorst (2001), et l'indice de Rogers (2006) l'autonomie continue ( $DA_{con}$ ).

Bien qu'un certain nombre d'examen sur les indices du confort lumineux soient disponibles dans la littérature Guo et Houser (2004); Reinhart, Mardaljevic et Rogers (2006); Bellia et al. (2008); Reinhart et Wienold (2011), aucun indice porte sur les quatre facteurs impliqués dans le confort lumineux, comme l'indiquent Carlucci, Causone, et al. (2015). Ces indicateurs permettent de prédire facilement les performances d'un environnement en termes de lumière naturelle, mais ils ne sont pas si répandus parmi la communauté des concepteurs et tous les logiciels ne les estiment pas automatiquement, comme le soulignent Galasiu et Reinhart (2008). À ce sujet, Reinhart et Fitz (2006) et Galasiu et Reinhart (2008) assurent que jusqu'à présent, seulement le logiciel Radiance qui permet de les calculer facilement (Bellia, Pedace et Barbato 2014). Par ailleurs, le logiciel Daysim est considéré également comme un logiciel pionnier pour calculer ces indices.

Ces indices peuvent être calculés après une simulation dynamique de la lumière du jour qui s'étend habituellement sur une année entière. Les simulations dynamiques se composent de différentes étapes de calcul, sachant que la première est la définition des conditions lumineuses externes qui caractérisent l'emplacement de conception et qui correspondent à chaque heure de l'année (Bellia, Pedace et Fragliasso 2015). En fait, le logiciel utilisé pour les simulations dynamiques de lumière du jour peut calculer ces conditions lumineuses en convertissant les valeurs globales et diffuse l'irradiation contenue dans les fichiers de données météorologiques et généré une distribution de la luminance du ciel au moyen d'un modèle de ciel, comme le déclare Mardaljevic (2000). De ce qui précède, on peut déduire qu'un fichier météorologique est nécessaire pour effectuer ce type d'analyse (Mardaljevic 2006). Le tableau 2\_1 montre le développement historique des indices liés au confort lumineux.

source	Indice
/	Éclairement ( $E_p$ )
/	Luminance (L)
/	Ratio de la luminance
(Petherbridge et Hopkinson 1950)	Indice d'éblouissement britannique (BGI)
(Walsh 1951)	<b>Facteur de la lumière du jour (FLJ/DF)</b>
(Guth 1963)	Probabilité du confort visuel (VCP)
(Judd 1967)	Indice de flatterie ( $R_f$ )
(Thornton 1972)	Indice de la discrimination de la couleur
(Thornton 1974)	Indice de préférences de la couleur
(DIN5035 1979)	Uniformité de l'éclairement ( $U_o$ )
(Einhorn 1979)	Indice de CIE de l'éblouissement (CGI)
(Chauvel et al. 1982)	Indice de l'éblouissement d'inconfort (DGI)
(Xu 1983)	Capacité du rendu de la couleur
(Pointer 1986)	Indice de rendu de la couleur de Pointer
(CIE17 1987)	Indice de rendu de couleurs (CRI ou $R_a$ )
(Meyer, Francioli et Rey, 1993)	Indice J
(CIE17 1995)	Évaluation de l'éblouissement unifié (UGR) Unified Glare Rating
(Tokura, Iwata et Shukuya 1996)	Vote prévisible de la sensation de l'éblouissement (PGSV)
(Hashimoto, Yano et Nayatani 2000)	Indice de la sensation du contraste
(Reinhart et Walkenhorst 2001)	<b>Autonomie de la lumière du jour (DA)</b> <b>Daylight Autonomy</b>
(CIE146/147, 2002)	Évaluation de l'éblouissement unifié pour les petites sources lumineuses
(CIE146/147, 2002)	Évaluation d'éblouissement de la chambre géniale (GGR) Great-room Glare Rating
(Nazzal 2005)	Nouvel indice de l'éblouissement d'inconfort ( $DGI_N$ )
(Wienold et Christoffersen 2005)	Probabilité de l'éblouissement d'inconfort (DGP)

(Nabil et Mardaljevic 2006)	<b>Éclairage naturel utile (UDI)</b> <b>Useful Daylight Illuminance</b>
(Rogers 2006)	<b>Autonomie de la lumière du jour continue (DA<sub>con</sub>)</b> <b>Continuous Daylight Autonomy</b>
(Wienold 2007)	La probabilité d'éblouissement simplifié de Wienold (DGP <sub>s</sub> )
(Hviid, Nielsen et Svendsen 2008)	La simplification de la probabilité de l'éblouissement d'inconfort de Hviid (DGP <sub>s</sub> ) Hviid's simplification of the Discomfort Glare Probability
(Wienold 2009)	Amélioration de Probabilité d'éblouissement d'inconfort simplifié (eDGPs)
(Davis et Ohno 2010)	Échelle de la qualité de la couleur
(Sicurella, Evola et Wurtz 2012)	Fréquence du confort visuel (FVC)
(Sicurella, Evola et Wurtz 2012)	Intensité d'inconfort visuel (IVD)
(IES 2012)	Autonomie de la lumière du jour spatiale (sDA)

*Tableau 2–1: Développement historique des indices liés au confort (Carlucci, Causone, et al. 2015)*

### 2.8.1. Indices d'évaluation de la quantité de lumière

La quantification de la lumière du jour et sa distribution dans les environnements intérieurs est la première étape pour concevoir correctement des systèmes d'éclairage et de réaliser un contrôle éco-énergétique et afin d'évaluer également les consommations énergétiques, comme l'indiquent Bellia, Pedace et Fragliasso (2015). Par conséquent, ces chercheurs montrent également qu'il est nécessaire d'utiliser les mesures de performance de la lumière naturelle à l'heure actuelle. À ce sujet, l'approche standard est encore statique elle se base sur le facteur de la lumière du jour (DF/FLJ) (Waldram 1950), bien que ce type d'approche ait été critiqué par Mardaljevic, Heschong et Lee (2009). Ce fait a conduit à la proposition de nouvelles métriques, appelées mesures dynamiques du rendement de la lumière du jour en introduisant des indices, tels que l'autonomie de la lumière du jour (DA) (Reinhart, Mardaljevic et Rogers 2006 ; Rogers 2006), l'autonomie continue de la lumière du jour (DA<sub>con</sub>) (Reinhart et Walkenhorst 2001), l'éclairage naturel utile (UDI) (Nabil et Mardaljevic, 2005, 2006) et les indices de Sicurella, Evola et Wurtz (2012) qui sont: fréquence du confort visuel (FVC) et intensité d'inconfort visuel (IVD). La figure 2\_7, présente une classification chronologique d'élaboration des indices d'évaluation de la quantité de la lumière naturelle.

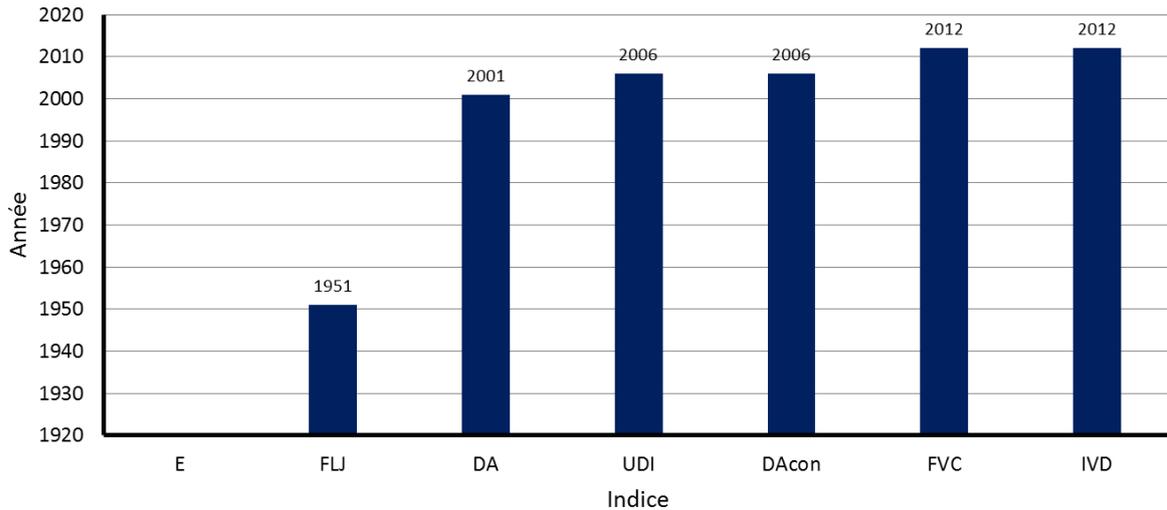


Figure 2–7: Classification chronologique d'élaboration des indices d'évaluation quantitative de la lumière naturelle (Source : Auteur)

### 2.8.1.1. Facteur de la lumière du jour (DF/FLJ)

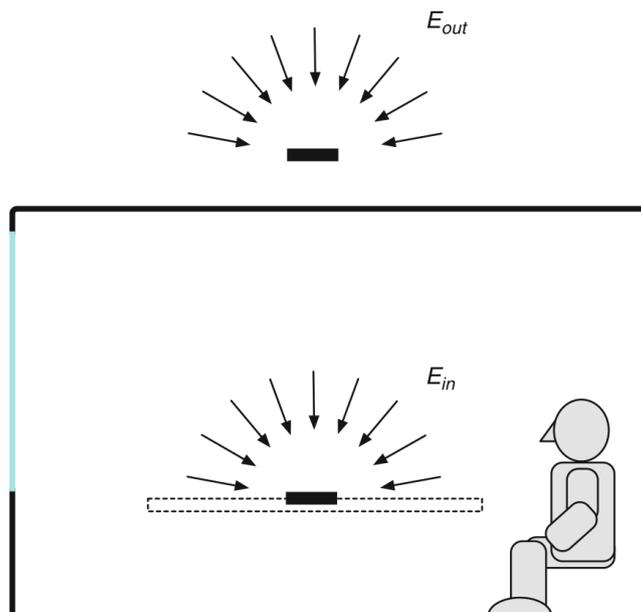


Figure 2–8: Représentation du facteur de la lumière du jour ( $E_{ext}$ ,  $E_{int}$ ) (Mardaljevic 2012)

En effet, les lignes directrices de la conception dans le monde entier recommandent actuellement la fourniture de lumière naturelle en fonction du facteur de lumière de jour (FLJ/DF) établi depuis longtemps (Hopkinson 1963). Il est défini comme le pourcentage de la lumière extérieure disponible à l'intérieur, comme l'attestent Kim et Kim (2010). Cette méthode d'évaluation a été largement utilisée dans d'anciennes études (Hunt 1979 ; Tregenza 1980), où l'état solide du ciel couvert prédomine pour une grande partie de l'expérience (Kim

et Kim 2010). Trotter a présenté le facteur de la lumière du jour pour la première fois en 1895 (Walsh 1951). Par ailleurs, et afin de simplifier la méthode d'évaluation de cette piste de réflexion, de nombreux codes réglementaires et législatifs se réfèrent à la relation entre l'éclairage interne et l'éclairage externe en même temps comme la montre la figure 2\_8. D'autre part, (Cellai et al., 2014) signalent le fait que cet indicateur de performance « facteur de lumière du jour » sert à exprimer le rapport entre l'éclairement interne et l'éclairement externe non obstrué sous un ciel couvert standard CIE (Mardaljevic 2012), voir l'équation (Eq 2\_1). Sachant que la lumière directe du soleil est exclue pour les valeurs intérieures ou extérieures de l'éclairage (Hopkinson, Petherbridge et Longmore 1966). Néanmoins, il faut noter que l'hypothèse initiale d'une luminance uniforme à travers le ciel dôme sous un ciel fortement couvert a été dépassé par Moon et Spencer (1942), qui ont proposé une formulation pour le modèle de luminance des cieux couverts qui a été adopté comme norme par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) en 1955 (Mardaljevic, 2013).

$$DA = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \times 100 \% \text{ (Eq 2_1)}$$

Par ailleurs, on trouve dans la littérature scientifique que d'après l'étude de Carlucci, Causone, et al. (2015) et selon plusieurs chercheurs ont critiqué le facteur de la lumière du jour, car il a des limitations remarquables comme un indice de l'évaluation du confort lumineux:

- Le FLJ est habituellement exprimé en pourcentage, de sorte qu'il n'y a aucune considération de valeurs d'éclairement absolues (Mardaljevic, Heschong et Lee 2009 ; Mardaljevic 2012) ;
- L'orientation d'un bâtiment n'a aucun effet sur le calcul du FLJ (Tzempelikos et Athienitis 2007) car le ciel est complètement couvert, donc il ne prend pas en considération le soleil (Mardaljevic 2012) ;
- Il ne peut pas évaluer l'éblouissement de l'inconfort, car il ne prend pas en considération l'éclairage des murs, ce qui est essentiel pour la perception de l'homme (Cantin et Dubois 2011).

Facteur de la lumière du jour	< 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	> 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Élevé	Très élevé
Impression de clarté	Sombre à peu éclairer		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		
Activités recommandées	Circulations, sanitaires, greniers, garages		Minimum pour les pièces habitables		Activités ponctuelles, lecture, couture, mécanique	
Éclairage intérieur quand l'éclairage extérieur est de 10000 lux	Moins de 100 lux	100 à 200 lux	200 à 400 lux	400 à 700 lux	700 à 1200 lux	Plus de 1200 lux

Tableau 2–2: Tableau indicatif liant le facteur de lumière du jour avec les activités possibles (Roditi 2011)

D'autre part, et afin d'évaluer l'environnement lumineux tableau 2\_2 illustre la clarté de la lumière naturelle du très faible au très élevé et du sombre à de très clair. Dans la même perspective, Ibrahim et Zain-Ahmed (2007) et Hee et al. (2015) ont testé la distribution du facteur de la lumière du jour pour un verre clair, sachant que ces chercheurs ont utilisé une échelle du jugement comme le suit :

- $FLJ < 10$  : de la quantité de lumière optimale au superposer ;
- $5 < FLJ < 10$  : bonne qualité de la lumière naturelle ;
- $2 < FLJ < 5$  : demande d'un éclairage artificiel supplémentaire ;
- $FLJ < 2$  : demande d'un éclairage artificiel totale. (Ibrahim et Zain-Ahmed 2007 ; Hee et al. 2015)

### 2.8.1.2. Autonomie de la lumière du jour (DA)

L'autonomie de la lumière du jour «autonomie de la lumière naturelle» (DA) est considérée comme l'un des paramètres climatiques les plus simples (Reinhart et Walkenhorst 2001). Il a été proposé par l'Association Suisse des Électriciens (ASE 1989), par la suite il a été affiné par Reinhart et Walkenhorst (2001). Contrairement au facteur de la lumière du jour, l'autonomie de la lumière du jour tient compte de toutes les conditions du ciel, tout au long de l'année (David et al. 2011). En fait, l'autonomie de la lumière du jour (DA) d'un espace architecturale est le pourcentage de temps afin d'achever une tâche ou une activité normale sans l'utilisation de l'éclairage électrique. En d'autre terme, c'est le moment où l'éclairage cible peut être maintenu seulement de la lumière du jour (Köster 2013). Également cet indice

dépend des exigences d'éclairage de l'utilisateur et du calendrier d'occupation (David et al. 2011). De plus, il prend en compte les conditions météorologiques réelles du site étudié (Carlucci, Causone, et al. 2015). À ce sujet, David et al. (2011) signalent que l'autonomie de la lumière du jour est la quantité de temps que vous pouvez espérer atteindre un certain niveau de lumière grâce à l'utilisation seulement de la lumière naturelle (David et al. 2011). De même, Reinhart et Walkenhorst (2001) ont défini cet indice comme le pourcentage des heures occupées durant une année où le seuil d'éclairement minimal est atteint seulement par la lumière du jour (la lumière naturelle) (Reinhart et Walkenhorst 2001). De même, Carlucci, Causone, et al. (2015) soutient que cet indice est un indice de long terme, d'un seul (tailed) et local, qui se réfère à la quantité de lumière naturelle disponible à un point donné dans l'espace pendant les heures occupées, où il conçoit la performance visuelle par valeur du seuil exprimée en pourcentage (Carlucci, Causone, et al. 2015). La définition de cet indice n'est pas accompagnée d'une valeur de seuil spécifiée. À ce titre, Olbina et Beliveau (2009) suggèrent de définir le seuil de limite E à 500 lx (Carlucci, Causone, et al. 2015). De même, Mardaljevic (2012) confirme que les occupants préfèrent que l'éclairage naturel ne doive pas dépasser certain niveaux, bien qu'il ne soit pas clair quels sont précisément ces niveaux, de cela, la mesure du (DA) détermine l'occurrence annuelle des éclairements supérieurs à un éclairage au niveau de la conception indiquée, par exemple 300 ou 500 lux. En fait cet indice peut être calculé par la formule suivante :

$$DA = \frac{\sum_i (wf_i \times t_i)}{\sum_i t_i} \in [0,1] \text{ (Eq 2_2)}$$

Où,

$$wf_i = 1 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} \geq E_{\text{Limite}}$$

$$wf_i = 0 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} < E_{\text{Limite}}$$

Sachant que « Cette note se concerne également l'indice DAcon et l'indice UDI »:

- $t_i$  est la durée d'occupation durant une année ;
- $wf_i$  est le facteur de pondération selon les valeurs du  $E_{\text{Naturel}}$  et du  $E_{\text{Limite}}$ .

### 2.8.1.3. Autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ )

L'autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ ) est une amélioration de l'indice (DA) proposée par Rogers (2006). Comme l'autonomie de la lumière du jour DA, cet indice est un indice de long terme, local d'un seul (tailed) qui se réfère à la quantité de lumière naturelle disponible par rapport à un point donné dans l'espace pendant les heures occupées et est un indice, mais le crédit partiel est attribué aux marches temporelles lorsque l'éclairement de la lumière du jour mesurée ( $E_{Naturel}$ ) se situe en dessous de la limite ( $E_{Limite}$ ) (Carlucci, Causone, et al. 2015). D'après les mêmes chercheurs, l'équation (Eq 2\_3) de cet indice reconnaît que même une contribution partielle de la lumière naturelle utilisée pour éclairer un espace est encore bénéfique et suppose l'avantage de croître linéairement avec le niveau d'éclairement. À ce sujet, le ( $DA_{con}$ ) peut être calculé selon l'équation suivante :

$$DA_{con} = \frac{\sum_i (wf_i \times t_i)}{\sum_i t_i} \in [0,1] \text{ (Eq 2_3)}$$

Où,

$$wf_i = 1 ; \text{ Lorsque } E_{Naturel} \geq E_{Limite}$$

$$wf_i = \frac{E_{Naturel}}{E_{Limite}} ; \text{ Lorsque } E_{Naturel} < E_{Limite}$$

### 2.8.1.4. Éclairement naturel utile (UDI)

En effet, l'éclairement naturel utile (UDI) est un indice d'évaluation du niveau du confort lumineux dans les espaces architecturaux élaborés par Nabil et Mardaljevic (2006). Cet indice est une modification de l'indice (DA). À ce titre, Carlucci, Cattarin, et al. (2015) et Carlucci, Causone, et al. (2015) suggèrent que l'UDI définie comme la partie du temps dans une année où l'éclairement de la lumière du jour horizontale intérieure à un point donné se situe dans une gamme du confort sélectionnée. L'UDI est considéré comme un indice à long terme, local et (bi-tailed) (Carlucci, Causone, et al. 2015) qui est utilisé notamment pour évaluer la quantité de lumière disponible dans un espace donné, comme l'indiquent (Carlucci, Cattarin, et al. 2015).

Par ailleurs, Nabil et Mardaljevic (2006) affirment que cet indice informe non seulement sur la fréquence des niveaux utiles de l'éclairement de la lumière du jour, mais aussi sur la fréquence d'apparition de niveaux excessifs de la lumière naturelle qui pourraient

causer un inconfort lumineux des occupants comme la présence de l'effet de l'éblouissement (Carlucci, Causone, et al. 2015). D'autre part, cet indice peut être défini également comme l'apparition annuelle d'éclairage sur le plan de travail qui se trouve dans une gamme considérée comme «utile» par les occupants (Mardaljevic 2012).

D'après Carlucci, Causone, et al. (2015) et Carlucci, Cattarin, et al. (2015), les limites d'utilisation de l'UDI tiennent compte du manque de l'accord sur les valeurs limites d'éclairage et du risque d'une quantité d'informations impossible à gérer, puisque l'UDI fournit trois valeurs pour chaque point de l'espace dans lequel elle est calculée.

De ce fait, la métrique UDI informe sur l'apparition d'éclairages dans la gamme que les occupants préfèrent ou tolèrent avec la propension à des niveaux excessifs de la lumière naturelle qui sont associés à l'inconfort des occupants et au gain solaire indésirable, comme le présentent (Mardaljevic 2006). À ce sujet, des valeurs limites inférieures et supérieures d'éclairage sont proposées afin de diviser la période analysée en trois niveaux (Carlucci, Causone, et al. 2015):

- Le niveau supérieur est censé représenter le pourcentage du temps où une offre excédentaire de la lumière naturelle peut entraîner un inconfort lumineux ;
- Le bac inférieur représente le pourcentage du temps où il y a trop peu de lumière naturelle ;
- Le bac intermédiaire représente le pourcentage de temps avec le niveau d'éclairage approprié.

Dans cette perspective, la mesure de l'UDI a été formulée comme un moyen de réduire les données volumineuses de séries temporelles d'une simulation basée sur le climat à une forme de simplicité interprétative comparée à la méthode du facteur de la lumière du jour (FLJ), mais qui préserve néanmoins un grand traitement du contenu d'information significatif de la série chronologique d'éclairage (Mardaljevic 2012). L'UDI est peut être calculé selon l'équation suivante :

$$UDI = \frac{\sum_i (w f_i \times t_i)}{\sum_i t_i} \in [0,1] \text{ (Eq 2_4)}$$

Sachant que,

- $UDI_{\text{Overlit}}$  avec,

$$wf_i = 1 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} > E_{\text{Limite supérieure}}$$

$$wf_i = 0 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} \leq E_{\text{Limite supérieure}}$$

- $UDI_{\text{Utile}}$  avec,

$$wf_i = 1 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Limite inférieure}} \leq E_{\text{Naturel}} \leq E_{\text{Limite supérieur}}$$

$$wf_i = 0 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} < E_{\text{Limite inférieure}} \vee E_{\text{Naturel}} > E_{\text{Limite supérieur}}$$

- $UDI_{\text{Underlit}}$  avec,

$$wf_i = 1 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} < E_{\text{Limite inférieure}}$$

$$wf_i = 0 ; \text{ Lorsque } E_{\text{Naturel}} \geq E_{\text{Limite supérieure}}$$

Source	Limite minimale de l'éclairement	Limite maximale de l'éclairement
(Nabil et Mardaljevic 2006)	100	2000
(Mardaljevic, Hescong et Lee 2009)	100	2500
(Olbina et Beliveau 2009)	500	2000
(Slater et Boyce, 1990)	300	8000

Tableau 2-3: Limites d'éclairement pour l'UDI (Carlucci, Causone, et al. 2015)

Le tableau 2\_3 présente les valeurs limitent de l'UDI qui représente la zone confortable «utile». Pour cela, la gamme considérée comme «utile» est basée sur une enquête sur le rapport des préférences et des comportements des occupants dans les espaces architecturaux éclairés naturellement avec des dispositifs d'ombrage exploités par l'utilisateur (Mardaljevic 2012). Où la zone utile varie entre 100 et 2000 lux, selon Nabil et Mardaljevic (2006), entre 100 et 2500 lux, d'après l'étude de Mardaljevic, Hescong et Lee (2009), entre 500 et 2000, comme l'assurent Olbina and Beliveau (2009) et entre 300 et 8000, selon l'étude de Slater and Boyce (1990).

L'auteur Mardaljevic (2012) affirme que la gamme de l'UDI est encore subdivisée en deux gammes appelées  $UDI_{\text{supplémentaire}}$  et  $UDI_{\text{autonome}}$ , sachant que :

- L' $UDI_{\text{supplémentaire}}$  donne l'apparition de la lumière naturelle dans la gamme de 100 à 300 lux. Pour ces niveaux d'éclairement, un éclairage artificiel supplémentaire peut

être nécessaire pour compléter la lumière naturelle pour des tâches courantes telles que la lecture d'un journal dans une salle de séjour.

- L'UDI<sub>autonome</sub> donne l'apparition d'éclairage naturelle dans la gamme comprise entre 300 et 3000 lux, où l'éclairage artificiel supplémentaire ne sera probablement pas nécessaire. (Mardaljevic 2012)

À ce titre, le schéma l'éclairage naturel utile (UDI) est appliqué en déterminant à chaque point de calcul l'apparition des niveaux de lumière naturelle (Mardaljevic 2012), comme le montre la figure 2\_9, où : (i) l'éclairage est inférieur à 100 lux, c'est-à-dire UDI<sub>fellation</sub> (ou UDI-f), (ii) l'éclairage est supérieur à 100 lux et inférieur à 300 lux, c'est-à-dire UDI<sub>supplémentaire</sub> (ou UDI-s), (iii) l'éclairage est supérieur à 300 lux et inférieur à 3 000 lux, c'est-à-dire UDI<sub>autonome</sub> (ou UDI-a), et (iv) l'éclairage est supérieur à 3 000 lux, c'est-à-dire UDI<sub>dépassé</sub> (ou UDI-e).

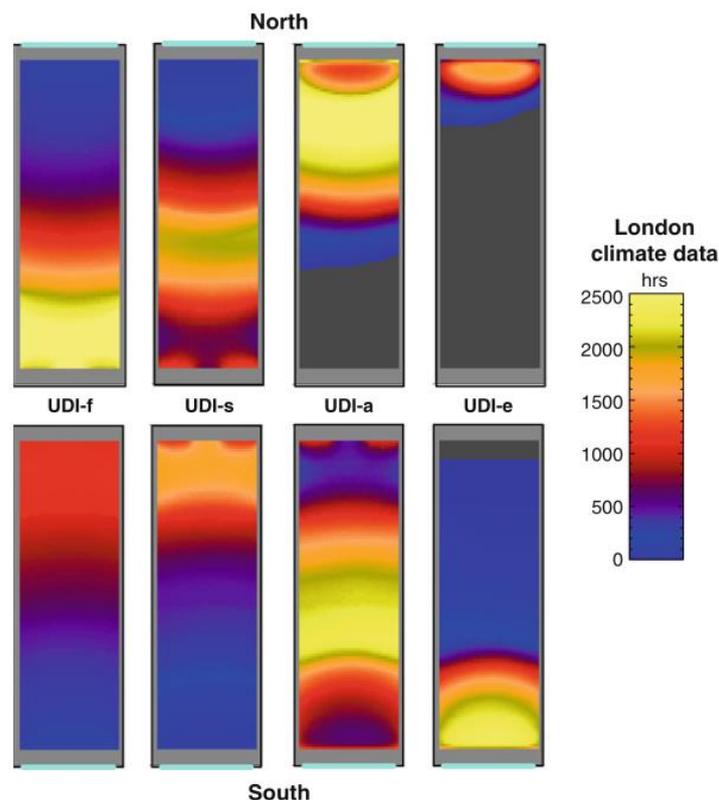


Figure 2–9: Occurrence annuelle des paramètres UDI entre les heures de 09:00 et 18:00 pour les orientations nord et sud (Londres, Royaume-Uni, données climatiques) (Mardaljevic 2012)

### 2.8.2. Indices d'évaluation de la répartition de la lumière

Le confort lumineux est associé non seulement à la quantité de lumière dans un espace, mais aussi à sa distribution, comme le certifient (Carlucci, Causone, et al. 2015). À ce sujet, les chercheurs de la littérature ont classé l'indice de l'uniformité d'éclairage ( $U_0$ ) comme l'indice principal d'évaluation de la répartition de la lumière dans les espaces architecturaux. Cet indice a été élaboré par les chercheurs de DIN5035 (1979).

### 2.8.3. Indices d'évaluation de l'éblouissement

Dans les travaux de recherche en l'architecture, la plupart des chercheurs ont étudié l'effet de l'éblouissement dans les espaces architecturaux afin de vérifier le niveau du confort lumineux à l'intérieur, ils ont utilisé plusieurs indices qui sont élaborés chronologiquement comme le montre la figure 2\_10, afin d'évaluer ce phénomène. En plus de l'utilisation de la luminance ( $L$ ) et l'indice des ratios de la luminance, on cite l'indice de Petherbridge et Hopkinson (1950) appelé l'indice d'éblouissement britannique (BGI), l'indice de Probabilité du confort visuel (VCP) qui a été proposé par Guth (1963). L'indice de CIE d'éblouissement (CGI) de Einhorn (1979), l'indice de l'éblouissement d'inconfort (DGI) (Chauvel et al. 1982), l'indice (J) élaboré par Meyer, Francioli et Rey (1993). On trouve également beaucoup de chercheurs dans le domaine qui ont utilisé l'indice de CIE17 (1995) connue par l'indice d'évaluation de l'éblouissement unifié (UGR), on peut citer ainsi l'indice de vote prévisible de la sensation d'éblouissement (PGSV) présenté par Tokura, Iwata et Shukuya (1996). En 2005, le chercheur Nazzal (2005) a développé le nouvel indice de l'éblouissement d'inconfort ( $DGI_N$ ) qui une amélioration de l'indice de Chauvel et al. (1982). Dans la même année, Wienold et Christoffersen (2005) ont élaboré leurs indice appelé, probabilité de l'éblouissement d'inconfort (DGP), après deux ans un de ces chercheurs a simplifié cet indice pour devenir l'indice de la probabilité d'éblouissement simplifié de Wienold ( $DGP_S$ ) (Wienold 2007). Également, Hviid, Nielsen et Svendsen (2008) ont simplifié le même indice de Wienold et Christoffersen (2005) afin de devenir connu par la simplification de la probabilité de l'éblouissement d'inconfort de Hviid ( $DGP_S$ ). De même, Wienold (2009) a amélioré son indice ( $DGP_S$ ) afin de devenir connu par : l'amélioration de probabilité d'éblouissement d'inconfort simplifié ( $eDGP_S$ ).

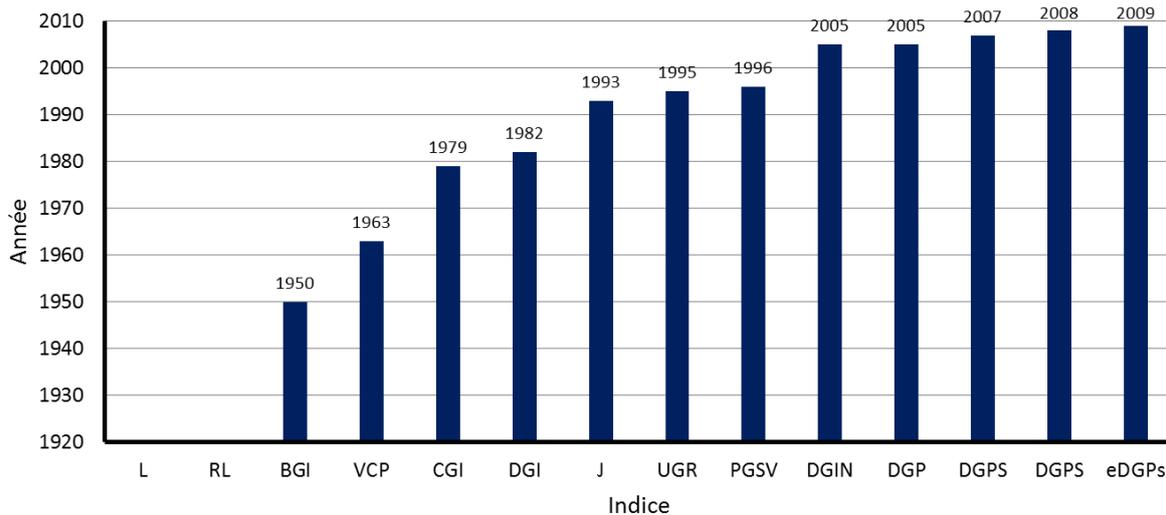


Figure 2–10: Classification chronologique d'élaboration des indices d'évaluation de l'éblouissement (Source : Auteur)

#### 2.8.4. Indices d'évaluation de la qualité de la lumière

Comme les indices d'évaluation quantitative de la lumière, les indices d'évaluation de la qualité de la lumière sont utilisés fortement par les chercheurs afin d'évaluer qualitativement le niveau du confort lumineux dans les espaces architecturaux, notamment dans les milieux d'habitation.

Par une analyse chronologique de ces indices, on peut citer l'indice de flatterie (Rf) présenté par Judd (1967), l'indice de discrimination de la couleur (IDC) de Thornton (1972), l'indice élaboré par Thornton (1974), appelé indice de préférences de la couleur (IPC). On trouve ainsi l'indice qui a été développé par Xu (1983), connue par capacité de rendu de couleurs (CRC), l'indice de Pointer (1986) appelé indice de rendu de couleurs de Pointer (IRC), l'indice de rendu de couleurs (CRI ou  $R_a$ ) de CIE17 (1987). On peut noter aussi, l'indice de la sensation du contraste (ISC) qui a été proposé par Hashimoto, Yano et Nayatani (2000), et l'échelle de la qualité de la couleur (EQC) qui a été développer par (Davis et Ohno, (2010). Ces indices sont présentés chronologiquement dans la figure 2\_11.

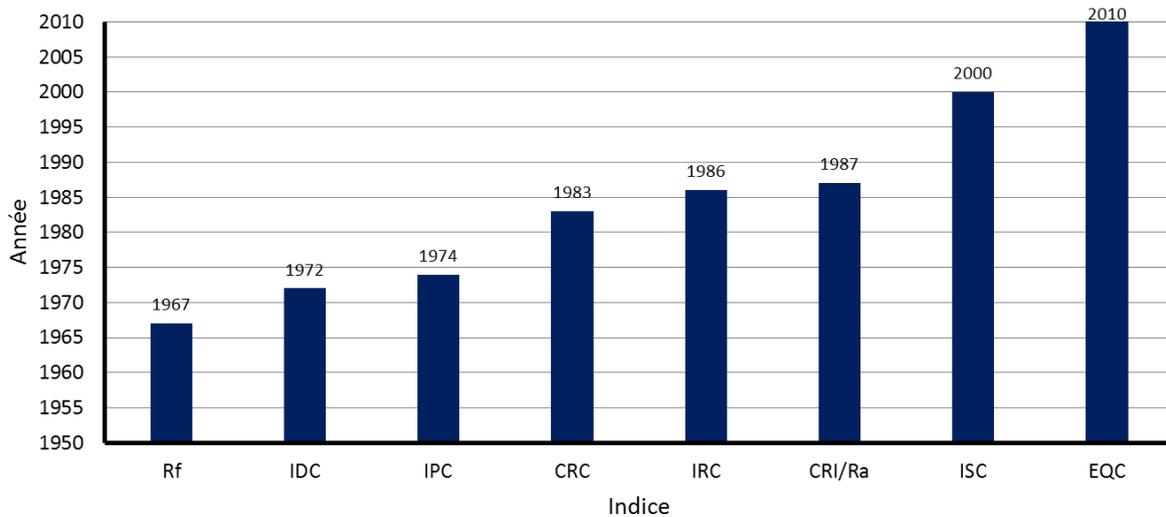


Figure 2–11: Classification chronologique d'élaboration des indices d'évaluation qualitative de la lumière (Source : Auteur)

## 2.9. Méthodes et outils d'évaluation du confort lumineux

Dans la littérature scientifique de l'architecture, certains outils d'évaluations ont été utilisés pour évaluer le confort lumineux, l'ambiance lumineuse, et la performance lumineuse d'un espace architectural. Les mesures in situ des paramètres photométriques sont la méthode la plus fréquente pour les chercheurs. À ce niveau, on peut citer l'étude de Yao (2014) qui a utilisé un Luxmètre JTG01 dans son travail, et l'étude de Thanachareonkit, Scartezzini et Andersen (2005) qui ont réalisé une étude comparative entre un modèle et un modèle à échelle réduite, comme la montre la figure 2\_12.



Figure 2–12: Image représentative d'une comparaison entre un modèle en échelle réelle et réduite (Thanachareonkit, Scartezzini et Andersen 2005)

D'autre part, plusieurs chercheurs ont utilisé la simulation numérique comme outil principal de leurs recherches, citant à titre d'exemple les études de Andersen, Gochenour de Lockley (2013) qui ont simulé l'indice DA afin de vérifier la performance lumineuse de ces modèles. De même, David et al. (2011) ont étudié le DA et l'UDI pour évaluer leurs cas d'étude. De leurs côtés, Li, Cheung et Lau (2006) et Ochoa et Capeluto (2006) ont utilisé le logiciel Radiance comme outil principal de la recherche. À ce sujet, Bellia, Pedace et Fragliasso (2015) confirment que l'intérêt des simulations de lumière naturelle a augmenté ces dernières années (Bellia, Pedace et Fragliasso 2015).

Par ailleurs, l'image numérique a été considérée également comme l'outil principal de certains chercheurs, citant pour ce sujet les études de Demers (2007); Dubois et al. (2009); Coulombe, Demers et Potvin (2010); Karole et Demers (2010); Lépine, Demers et Potvin (2012); et l'étude de Demers et Potvin (2013). D'autre part, on trouve une autre technique qui est largement documentée dans la littérature. Par l'utilisation de l'enquête par questionnaire comme technique de recherche, plusieurs chercheurs ont étudié les effets de la lumière du jour et les comportements humains sur le confort lumineux, citant à titre d'exemple les études de Cheung (2006); Li et al. (2006); Lau, Gou et Li (2010); et celle de Xue, Mak et Cheung (2014).

## Conclusion

En résumé, d'après la synthèse bibliographique qui a été présentée dans ce chapitre, nous pouvons déduire qu'à partir du rôle très important de la lumière naturelle, qui sert à réduire la consommation énergétique dans les environnements des bâtiments par la diminution des exigences d'éclairage électrique, que le confort lumineux a été largement étudié dans la littérature scientifique.

Aujourd'hui, la pratique du design architectural repose encore sur le facteur de la lumière du jour (FLJ/DF) élaboré en 1951 en tant qu'indicateur de performance de la lumière naturelle d'un espace bâti. Néanmoins, plusieurs études récentes ont mis en évidence sa faiblesse. Par conséquent, d'autres indicateurs de performance ont été proposés pour étudier les pourcentages d'heures annuelles confortables (utiles) d'où les occupants peuvent réaliser leurs tâches visuelles sans avoir recours à l'éclairage artificiel, tels que l'indice de l'autonomie

de la lumière du jour (DA) élaboré en 2001, l'indice de l'éclairement naturel utile (UDI) développé en 2005, et l'indice de 'autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ ) proposé en 2006.

Finalement, et après avoir présenté une étude théorique sur le confort thermique et le confort lumineux des habitants dans la première partie de ce manuscrit de thèse dite « revue de la littérature », nous allons réaliser dans le prochain chapitre notre cas d'étude ainsi que la méthodologie suivie dans cette recherche.

**Partie 2 :**

**Partie pratique**

**(Investigation sur le niveau du confort thermique et lumineux objectif et subjectif des habitants)**

**Chapitre 3 :**  
**Présentation du cas d'étude et méthodologie de  
recherche**

## **Chapitre 3: Présentation du cas d'étude et méthodologie de recherche**

### **Introduction**

À partir du cadre théorique et de ce qui a été présenté dans la revue de la littérature scientifique (première partie), nous avons pu identifier de manière précise le confort thermique et lumineux intérieur, et cela par l'analyse d'une manière détaillée les différentes approches, méthodes et indices d'évaluation du confort thermique et lumineux dans les milieux résidentiels.

Dans le présent chapitre, nous allons analyser en une première étape les caractéristiques climatiques du contexte d'étude représenté par la ville de Biskra. Dans une deuxième étape, nous allons présenter les définitions opérationnelles des logements collectifs sociaux et promotionnels (cas d'étude). Ensuite, et dans une troisième étape, nous allons focaliser le cadre de la recherche par le choix de l'espace le plus important dans les logements collectifs pour les habitants. Ensuite, nous allons réaliser une description détaillée des logements à étudier, comme quatrième étape de ce chapitre. D'autre part, nous allons présenter également une analyse détaillée des caractéristiques corporelles des habitants de la ville de Biskra (échantillon de la recherche), comme cinquième étape. Finalement, et dans la dernière étape de ce chapitre, nous allons présenter l'approche méthodologique adoptée pour cette étude, ou nous allons énoncer les indicateurs utilisés dans l'expérimentation de cette étude.

### **3.1. Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra**

Le contexte de cette étude se limite aux régions à climat chaud et sec, cas de la ville de Biskra-Algérie (34.8°N, 5.7°E), figure 3\_1. Biskra bénéficie de 2000 à 2500 heures de soleil par an dans tout point de cette ville, figure 3\_2. Elle se caractérise par un ciel clair et ensoleillé presque pendant toute l'année, avec un rayonnement global qui varie entre 240 kWh/m<sup>2</sup> et 90 kWh/m<sup>2</sup> (Meteonorm7, no date).

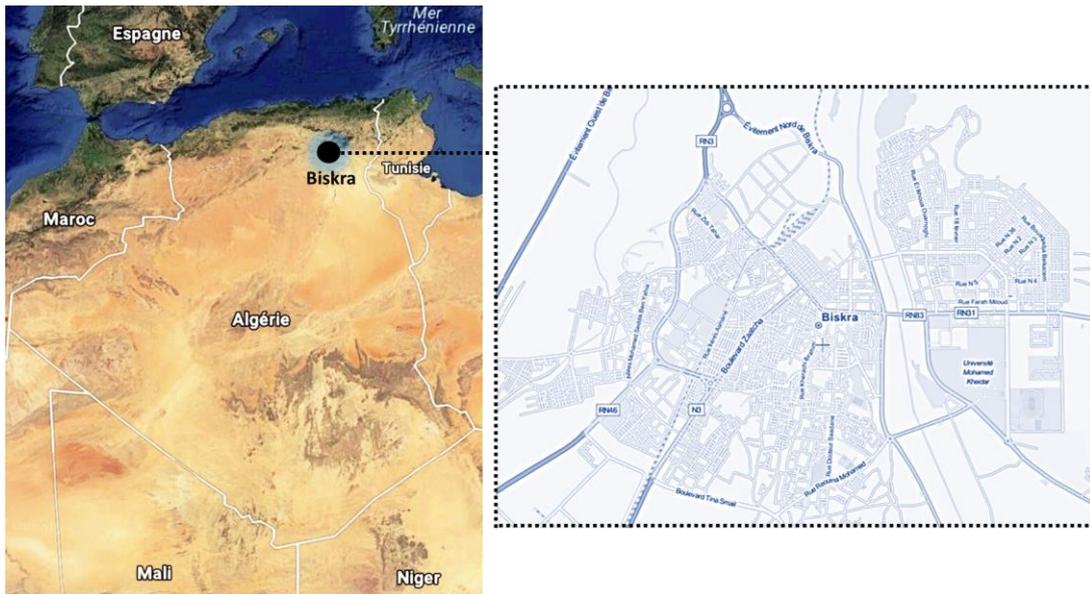


Figure 3–1: Situation de la ville de Biskra

La température moyenne annuelle de la ville de Biskra est de 22.8°C. Elle se caractérise aussi par une période estivale très sévère, où la température maximale peut atteindre le 46°C pendant le mois de juillet, comme la montre la figure 3\_3. En outre, cette figure illustre également les degrés de la température minimale de cette ville qui arrivent à 3°C durant la période hivernale, plus précisément pendant le mois de décembre et le mois de janvier.

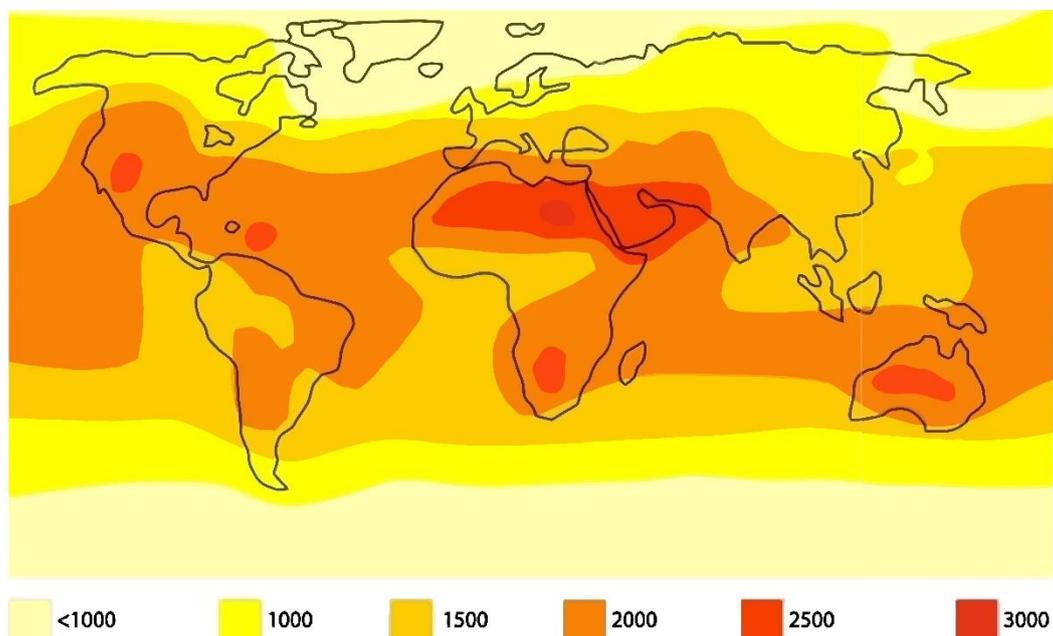


Figure 3–2: Irradiation solaire annuelle dans le monde (Goussous, Siam et Alzoubi 2015)

Par ailleurs, la précipitation annuelle moyenne dans cette ville est très faible, elle atteint sa valeur maximale durant le mois de mars 20 mm. Durant la période hivernale, le nombre moyen des jours avec précipitation est de deux (2) à trois (3) jours avec une précipitation moyenne de 12 mm. Tandis que, la précipitation moyenne de la période estivale est presque nulle elle n'atteint que 3mm, figure3\_4.

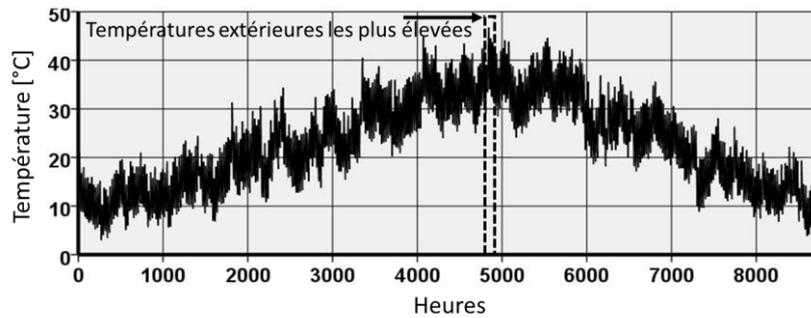


Figure 3–3: Évolution annuelle de la température extérieure de Biskra

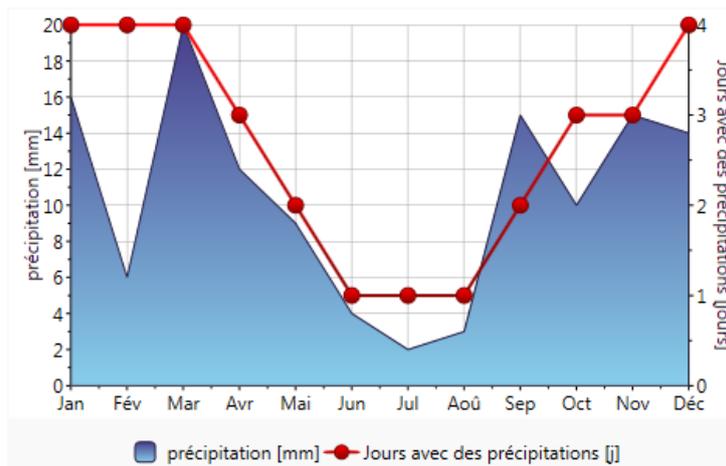


Figure 3–4: Précipitation annuelle de la ville de Biskra (Meteonorm7, no date)

### 3.2. Présentation du cas d'étude

Dans le but de parvenir à l'objectif poursuivi, nous avons considéré dans cette recherche les logements collectifs promotionnels et les logements collectifs sociaux de la ville de Biskra comme cas d'étude. De cela, il est impératif de donner des définitions opérationnelles pour chaque type.

### 3.2.1. Le logement collectif social

Le logement collectif social est le type le plus répandu puisqu'il est destiné aux couches les plus démunies et à bas revenu de la classe sociale inférieure. Il est accessible par voie de location bien qu'après un certain nombre d'années il pourrait être acheté par l'acquéreur à sa demande.

### 3.2.2. Le logement collectif promotionnel

Le logement collectif promotionnel est destiné aux couches sociales de la classe moyenne ayant un revenu mensuel moyen. Son acquisition ouvre droit à sa propriété. Ce type de logement est considéré comme meilleur en matière de qualité de matériaux de constructions « matériaux nobles » et de conception.

## 3.3. Cadre de la recherche

Les espaces de l'habitat collectif en Algérie sont bien définis, d'où chaque logement se compose d'espaces jours (séjour, salons, cuisine) et d'espaces nuits (les chambres), et d'espaces de circulation, et d'autres espaces annexes (loggias et sanitaire).

D'autre part, ces espaces sont organisés selon des règles bien précises. Parmi ces règles, on nous pouvons citer à titre d'exemple la relation séjour-loggia, cuisine-loggia et toilette-salle de bain...etc. Afin de donner un cadre pour notre recherche, il est impératif de déterminer un ou deux espaces qui méritent d'être étudiés. De ce fait, nous avons choisi notre cas d'étude dans la zone des espaces jours qui est le séjour sans négliger la loggia spécifique de cet espace, car la loggia est une variable importante qui a un impact sur le niveau du confort thermique et lumineux de l'habitant. En fait, la raison qui est derrière le choix de cette zone est la longue durée d'occupation de ces espaces par les habitants par rapport aux autres espaces ainsi que les diverses activités des occupants exécutées dans cet espace.

À ce propos, Sriti et Tabet-Aoul (2013) attestent que l'espace domestique est considéré comme le lieu des pratiques par excellence, des émotions et du vécu quotidien (Sriti et Tabet-Aoul 2013). Ainsi à partir de l'observation de l'habitat collectif de la ville de Biskra, nous pouvons souligner que parmi les pratiques quotidiennes dans les salles de séjour des logements collectifs celles qui sont fortement liées avec les priorités des exigences du confort lumineux.

Sachant que les priorités des exigences du confort lumineux sont très complexes et difficiles à définir surtout dans les milieux résidentiels et particulièrement dans les salles de séjour, car elles varient selon les taches d'activités pratiquées dans ces espaces, et selon la culture de l'occupant.

Ces priorités sont parfaitement reliées avec les espaces baies et que l'enveloppe d'un bâtiment a plusieurs fonctions, dont nous pouvons citer quelques-unes comme : la protection des locaux des influences extérieures, qu'il s'agisse des intempéries, des variations de température et du niveau d'éclairage ou des nuisances émanant de l'espace publique.

À ce sujet, Bref et Annet (2008) soulignent que l'éclairage naturel revêt une importance aussi bien physiologique qu'énergétique et assurent également que les jeux d'ombre et de lumière et les modifications de la couleur de la lumière à l'intérieur rendent perceptibles, les variations journalières et saisonnières liées au parcours du soleil (Bref et Annet 2008). D'autre part, les espaces baies ont d'autres influences sur les priorités des exigences du confort thermique, acoustique et olfactif...etc.

Toujours en liaison avec le confort lumineux et les espaces baies, Goas et Foucal (2013) certifient que parmi les points sensibles de la construction, les menuiseries extérieures (fenêtres, portes- fenêtres, vitrages) sont soumises à des exigences d'isolation et de confort accrues dans le cadre de la réglementation thermique (Goas et Foucal 2013). Elles répondent aussi à plusieurs fonctions : éclairage, isolation thermique et acoustique...etc. Dans le même ordre d'idée, Roditi (2011) confirme que c'est difficile de répondre à toutes les demandes. Néanmoins, avant tout les baies vitrées sont indissociables de l'éclairage naturel combiné à l'effet de serre qui réduit les besoins de chauffage (Roditi 2011). Ce dernier détermine que l'enjeu principal est de trouver le bon équilibre entre la transparence et l'isolation thermique de la paroi vitrée. Il affirme aussi que le verre laisse entrer la lumière visible (rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde) qui chauffe le sol et les parois, lesquels réémettent ensuite une part de l'énergie reçue sous forme de rayonnement infrarouge qui, lui, ne traverse pas le verre. Cet auteur souligne que ce phénomène, appelé « effet de serre », provoque le réchauffement d'une pièce derrière une paroi vitrée exposée au rayonnement solaire.

Par ailleurs, et toujours en relation avec les exigences du confort thermique et du confort lumineux, on peut déduire que le confort thermique dans l'habitat collectif, peut être assuré et amélioré à travers une bonne gestion de l'isolation et l'inertie thermique ou à partir d'une bonne stratégie du contrôle solaire. On peut évaluer ce dernier à travers une étude de l'effet des masques de l'enveloppe du bâtiment lui-même ou les masques dus à l'environnement immédiat. Parmi les exigences de l'enveloppe du bâtiment celle de procurer un confort thermique aux espaces intérieurs par le contrôle solaire, par le rafraîchissement dans les périodes estivales chaudes à travers un traitement spécifique pour le rôle de la protection des baies vitrées et de l'ombrage, ainsi que le chauffage dans les périodes hivernales froides à partir de l'utilisation d'une bonne stratégie de captage des rayonnements solaires directs.

### 3.3.1. Description des logements à étudier

Notre choix s'est porté sur les logements typiques de trois cités collectives promotionnelles et de trois cités collectives sociales situées dans la ville de Biskra, comme la montre le tableau 3\_1. Pour le type d'habitat promotionnel, le choix s'est effectué sur la cité 110 logements, la cité 40 logements et la cité 50 logements qui sont réalisés par l'Agence de Wilaya de Gestion et de Régulation Foncière Urbaine de Biskra (AGFU), les 110 logements promotionnels (P) et les 50 logements promotionnels sont situés dans la zone El-Alia de Biskra et la cité 40 logements promotionnels est située dans la partie Est de la ville de Biskra. Tandis que la cité 90 logements, la cité 220 logements et la cité 80 logements sont réalisés par l'Office de Promotion et Gestion Immobilière (OPGI), ont été choisies afin d'évaluer la performance thermique et lumineuse du logement collectif social. Les trois cités des logements sociaux sont situées dans la zone d'El-Alia, sachant que ces trois cités sont intégrées dans le même projet. La figure 3\_5 présente les vues satellitaires de chaque cité.

Type	Habitat promotionnel			Habitat social		
<b>Cité</b>	110 logements	40 logements	50 logements	90 logements	220 logements	80 logements
<b>Agence</b>	l'Agence de Wilaya de Gestion et de Régulation Foncière Urbaine de Biskra (AGFU)			Office de promotion et Gestion Immobilière (OPGI)		
<b>Année de lancement du projet</b>	2009	2010	2010	2008	2009	2010

Tableau 3-1: Présentation du cas d'étude (Source : Auteur)



Figure 3-5: vues satellitaires de chaque cité (Source : Auteur)

La raison principale de notre choix était fondée sur la période de lancement du projet par les deux (2) grandes Agences dans ce domaine en Algérie qui sont l'AGFU et l'OPGI, sachant que les années de lancement des projets choisis sont entre l'année 2009 et 2010. Nous signalons que nous avons choisi les logements qui sont déjà distribués aux habitants dans la période 2014 et 2015.

D'après une étude analytique des permis de construire, des documentations et des fiches techniques de chaque projet, et d'après des interviews réalisées avec les directeurs de l'AGFU et l'OPGI, nous avons remarqué que tous les logements ont le même système constructif. De plus, ils sont réalisés à l'aide des mêmes matériaux de construction. La seule différence remarquée était au niveau du pourcentage habitable de chaque logement, où les logements collectifs promotionnels se caractérisent par une surface habitable plus grande que celle des logements sociaux. Les plans détaillés et les façades sont présentés dans l'annexe A.

Le système constructif de chaque type de logement choisi est une structure poteaux-poutre, d'une hauteur de 3.2 m pour chaque étage, sauf dans les logements de la cité 110 P qui ont une hauteur de 2.9 m pour chaque étage et que les logements de cette cité sont des duplex.

La partie opaque de l'enveloppe de ces logements est constituée par des murs extérieurs en doubles parois en briques creuses, voir le tableau 3-2. Elle se compose d'une première paroi de briques de 15 cm vers l'extérieur, et une autre paroi de briques de 10 cm vers l'intérieur. Ces deux parois sont séparées par une lame d'air d'épaisseur 5 cm. Les murs à doubles parois en briques sont revêtus d'un enduit en ciment du côté extérieur et d'un

enduit en plâtre d'une épaisseur de 1.5 cm de l'intérieur. Les murs intérieurs en simples parois des briques de 10 cm. Le plafond de chaque logement est en dalle creux. Les planches de bas des logements situés au RDC sont sur terre-plein en béton avec une épaisseur de 10 cm.

Pour la partie légère de l'enveloppe, on trouve un simple vitrage avec une épaisseur de 6 mm qui caractérise les fenêtres de ces logements.

Parois/Planchers	Matériaux	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m.°C]	Épaisseur [m]
<b>Paroi extérieure</b>	Enduit en ciment	1,4	0,015
	Brique creuse	0,5	0,15
	Lame d'air	0,31	0,05
	Brique creuse	0,5	0,1
	Enduit en plâtre	0,35	0,015
<b>Paroi intérieure</b>	Enduit en plâtre	0,35	0,015
	Brique creuse	0,5	0,1
	Enduit en plâtre	0,35	0,015
<b>Planchers bas et intermédiaires</b>	Enduit en plâtre	0,35	0,015
	Corps creux + dalle de compression	1,45	0,2
	Mortier	1,4	0,04
	Revêtement du sol	2,1	0,06
<b>Plancher terrasse</b>	Enduit en plâtre	0,35	0,015
	Corps creux + dalle de compression	1,45	0,2
	Isolation	0,1	0,04
	Forme de pente	1,15	0,04
	Étanchéité	0,04	0,03

Tableau 3–2: Matériaux constituant l'enveloppe et leurs caractéristiques thermiques (Kadri et Mokhtari 2011)

La cité 110 logements promotionnels contient six (6) logements types dans chaque bâtiment. L'étude dans cette thèse est réalisée seulement sur trois (3) logements types. Les plans de ces logements sont présentés dans la figure 3\_6.

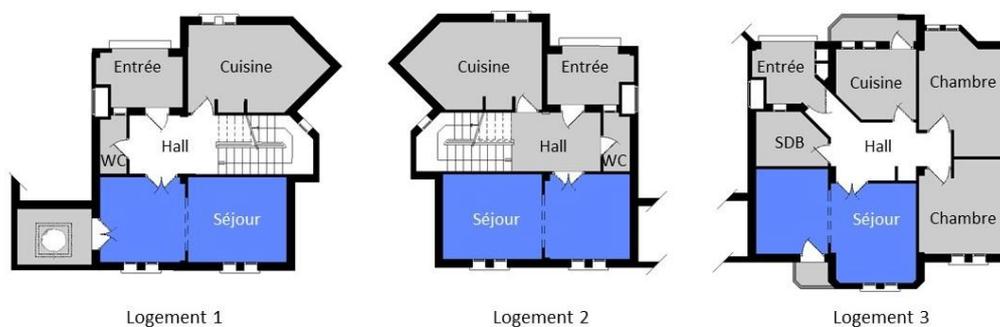


Figure 3–6: Plan des premiers étages des duplex des logements typiques de 110 P (Source : Auteur)

À ce niveau, les logements choisis pour effectuer les simulations de cette cité sont cinq (5) duplex de type F4, ou le logement (S1a\_110P), et le (S2a\_110P) sont situés au RDC, tandis que le logement (S3b\_110P) se situe au 1<sup>er</sup> étage, le (S3c\_110P) au 2<sup>ème</sup> étage, et le logement (S3d\_110P) se situe au 3<sup>ème</sup> étage. Voir le tableau 3\_3 qui présente les codages des logements promotionnels.

Notre étude a été effectuée sur les séjours de chaque logement, de ce fait, le codage des logements simulés a été réalisé comme suit :

[Séjour du logement x. étage y\_ Projet (type P ou S)]

Sachant que :

- (X) représente le numéro de logement typique
- (Y) représente les étages de RDC (a) jusqu'au 4<sup>ème</sup> étage (e)

Projet	Type de logement	Code de séjour
<b>110 logements promotionnels</b>	Logement 1	S1a_110P
	Logement 2	S2a_110P
	Logement 3	S3b_110P
		S3c_110P
	S3d_110P	
<b>40 logements promotionnels</b>	Logement 1	S1b_40P
		S1c_40P
		S1d_40P
		S1e_40P
<b>50 logements promotionnels</b>	Logement 1	S1a_50P
	Logement 2	S2b_50P
		S2c_50P
	Logement 3	S3d_50P
	Logement 4	S4e_50P

Tableau 3-3: Codage des salles de séjour des logements promotionnels étudiées (Source : Auteur)

Les figures 3\_7, 3\_8 présentent respectivement le plan typique de la cité 40 P, et les quatre (4) plans types de la cité 50 P. Sachant que, pour la cité 40 P nous avons simulé cinq (5) logements. D'autre part, nous avons choisi huit (8) logements pour la cité 50 P. Le codage de ces logements est présenté dans le tableau 3\_3.

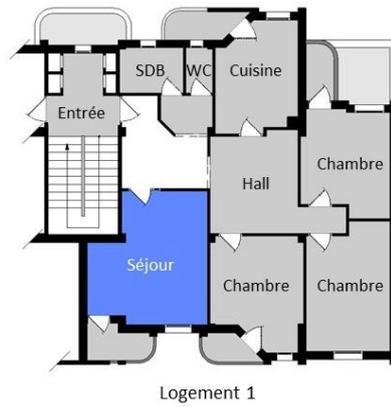


Figure 3–7: Plan des logements typiques de 40 P (Source : Auteur)



Figure 3–8: Plan des logements typiques de 50 P (Source : Auteur)

Le tableau 3\_4 illustre les codages des séjours choisis pour les logements collectifs sociaux, sachant que les codes présentés dans ce tableau ont la même logique de ce qu'on a présenté précédemment dans le tableau 3\_3.

Projet	Type de logement	Code de séjour	
<b>80 logements sociaux</b>	Logement 1	S1a_80S	
	Logement 2	S2a_80S	
	Logement 3	S3b_80S	
		S3c_80S	
		S3d_80S	
	Logement 4	S4b_80S	
		S4c_80S	
		S4d_80S	
	Logement 5	S5e_80S	
	<b>90 logements sociaux</b>	Logement 1	S1a_90S
Logement 2		S2b_90S	
		S2c_90S	
Logement 3		S3b_90S	
		S3c_90S	
		S3d_90S	
Logement 4		S4d_90S	
<b>220 logements sociaux</b>		Logement 1	S1a_220S
			S1b_220S
			S1c_220S
	S1d_220S		
	S1e_220S		
	Logement 2	S2a_220S	
		S2b_220S	
		S2c_220S	
		S2d_220S	
		S2e_220S	

Tableau 3–4: Codage des salles de séjour des logements sociaux étudiées (Source : Auteur)

Les figures 3\_9, 3\_10, et 3\_11 présentent les plans des cinq (5) logements types de la cité 80 S, les quatre (4) logements types de la cité 90 S, et deux (2) logements types de la cité 220 S.

Notre étude est basée sur neuf (9) logements pour la cité 80 S, sept (7) logements pour la cité 90 S et dix (10) logements pour la cité 220 S. Le codage de chaque logement est présenté dans le tableau 3\_4.

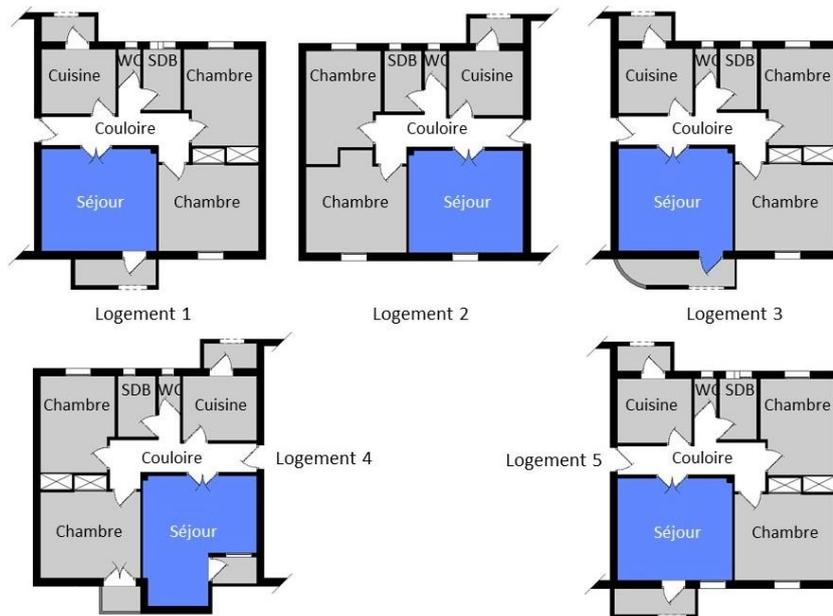


Figure 3-9: Plan des logements typiques de 80 S (Source : Auteur)

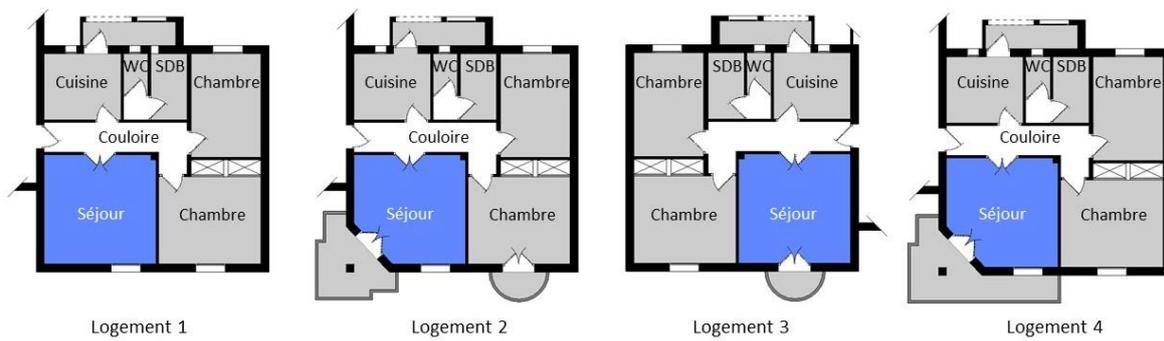


Figure 3-10: Plan des logements typiques de 90 S (Source : Auteur)

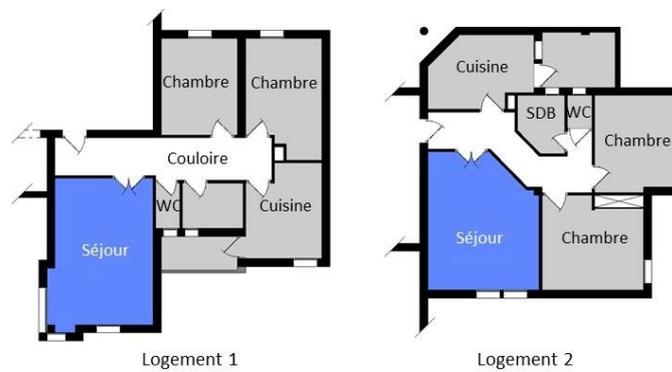


Figure 3-11: Plan des logements typiques de 220 S (Source : Auteur)

### 3.4. Caractéristiques corporelles des habitants de la ville de Biskra

Le confort thermique a été discuté depuis les années 1930 (Taleghani et al. 2013). Conformément aux normes internationales (ASHRAE55 1992 ; ISO7730 1994), les chercheurs ont généralement défini ce concept comme la condition de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique (Fanger 1973 ; Hensen 1990 ; Castilla et al. 2014). En effet, pour le corps humain, la peau peut être considérée comme le facteur principal de la sensation de la chaleur/froid. C'est pour cela que la température de la peau est devenue comme cause principale du niveau du confort de l'être humain. À ce sujet, plusieurs chercheurs dans le domaine du confort thermique, ont étudié l'interaction entre l'homme et son environnement (Imessad et Messaoudène 2008), c'est-à-dire la relation entre la peau de l'occupant et son environnement thermique, citant aussi à titre d'exemple l'étude de Nielsen et Nielsen (1984) qui ont vérifié l'influence de la distribution de la température de la peau sur la sensation thermique des occupants d'un environnement froid (Nielsen et Nielsen 1984). De leur côté, Huizenga et al. (2004) ont étudié la réponse de la température de la peau et du noyau à l'échauffement et au refroidissement partiel et global du corps humain (Huizenga et al. 2004). Dans leur étude, Imessad et Messaoudène (2008) proposent un modèle mathématique de prédiction de la sensation thermique et de la réponse physiologique des êtres humains (Imessad et Messaoudène 2008). En outre, Lan et al. (2008) ont achevé une investigation sur la différence de genre dans le confort thermique des Chinois (Lan et al. 2008). D'autre part, Kurazumi et al. (2008) ont réalisé une recherche sur les coefficients de transfert de chaleur radiatifs et convectifs du corps humain en convection naturelle (Kurazumi et al. 2008). À leur tour, Messaoudene, Imessad et Belhamel (2010) ont effectué une recherche afin de vérifier l'effet de la ventilation sur le confort thermique par l'utilisation des DTS-Application à une maison typique dans les conditions algériennes (Messaoudene, Imessad et Belhamel 2010). Par ailleurs, Liu et al. (2011) ont mené des expérimentations afin d'étudier l'impact des conditions thermiques intérieures froides sur la réponse thermique de l'être humain (Liu et al. 2011). Pour leur part, Schellen et al. (2012) ont examiné l'influence des effets locaux sur la sensation thermique dans des conditions environnementales non uniformes (Schellen et al. 2012). Quand à, Schlader et al. (2013) ont étudié la régulation de la température humaine lorsque l'occupant a la possibilité de se comporter (Schlader et al. 2013). L'auteur, Maiti (2014) considère que le modèle PMV est insuffisant pour capturer une réponse thermique subjective

des Indiens (Maiti 2014). À leur tour, Jacquot et al. (2014) se sont intéressés de l'influence de la thermo-physiologie sur le comportement thermique afin de vérifier les éléments essentiels de la catégorisation (Jacquot et al. 2014). Également, Ji et al. (2016) ont réalisé une étude expérimentale du confort thermique sur l'armure corporelle résistante aux coups de poignard (Ji et al. 2016). Finalement, nous pouvons citer l'étude de Veselý et al. (2017) qui ont proposé une approche comparative entre des appareils de chauffage et des modes de contrôle afin d'évaluer le comportement thermique des occupants (Veselý et al. 2017).

Nous signalons qu'une grande partie de notre recherche doctorale se consacre à l'évaluation du confort thermique dans les logements collectifs de la ville de Biskra. C'est pour cela que nous menons dans cette partie une expérimentation afin d'étudier l'interaction entre l'habitant de cette ville et l'environnement thermique de son logement, d'autre part nous étudions l'influence des paramètres environnementaux sur le corps de l'habitant et son niveau de satisfaction par rapport à ces paramètres. Sachant que la sensation thermique acceptable de l'occupant est fortement liée à l'équilibre thermique du corps qui se base sur l'interaction thermique correcte, entre l'occupant et l'environnement interne, à savoir que cette sensation dépend des facteurs environnementaux, comme le soulignent Sadafi et al. (2011). De cela, il est impératif de répondre dans cette partie d'étude aux deux questionnements suivants :

- Comment la température ambiante de l'air interne influence-t-elle sur les variations des températures corporelles des occupants (température moyenne de la peau, température du noyau central et température du corps) ? Et quelles sont les caractéristiques thermiques corporelles des habitants de la ville de Biskra ?
- Quel est le niveau de la température ambiante de l'air acceptable pour les habitants de cette ville ?

### **3.4.1. Caractéristiques corporelles des habitants**

L'objectif principal de cette partie consiste à l'étude de l'impact de la température ambiante de l'air intérieur sur le confort thermique des habitants des villes du sud de l'Algérie comme celui de la ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride. En outre, il vise à vérifier le comportement thermique de la peau, du noyau et du corps de l'habitant. Nous avons procédé à la détermination du niveau de la sensation thermique en fonction de ce paramètre environnemental.

Dans la perspective de parvenir à l'objectif indiqué, une série de mesures de type instantané a été réalisée dans une salle de séjour d'un logement situé dans la ville de Biskra qu'on peut le décrire comme le laboratoire de cette recherche, Figure 3\_12. Ces mesures ont été effectuées à l'aide de deux sondes numériques de l'appareil de mesure multifonctions : Testo 480 qui sont : i) la sonde de la température ambiante de l'air et ii) la sonde de la température ponctuelle. D'autre part, nous avons complété l'approche quantitative par une approche qualitative en utilisant un questionnaire afin de pouvoir évaluer la sensation thermique des participants.



Figure 3–12: Laboratoire de la recherche (Salle de séjour) (Source : Auteur)

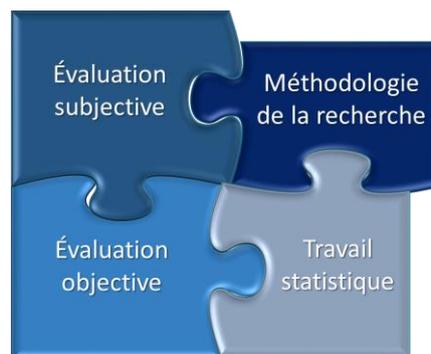


Figure 3–13: Processus du travail (Source : Auteur)

Le travail de cette partie de recherche repose sur l'étude de la température moyenne de la peau des occupants de l'espace choisi, la température du noyau, la température du corps et leurs sensations comme indicateurs afin d'effectuer une évaluation objective et subjective de leurs comportements thermiques par rapport aux différents scénarios de la température ambiante de l'air intérieur. Pour cela, nous avons pris les gammes suivantes : ( $\approx 16^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 18^{\circ}\text{C}$ ),

( $\approx 21^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 24^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 27^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 30^{\circ}\text{C}$ ), ( $\approx 32^{\circ}\text{C}$ ). La figure 3\_13 illustre le processus de travail de cette partie. À ce propos, nous avons choisi le scénario d'occupation le plus réaliste pour les habitants de la ville de Biskra, sachant que :

- La résistance thermique des vêtements a été fixée à 1.5 clo avec un pourcentage de couverture corporelle qui atteint le 58%, où chaque participant était habillé d'un tee-shirt à manches courtes 0.09 clo qui couvre 40% de son corps et d'un short de 0.26 clo, avec une couverture corporelle qui arrive à 18% comme le montre la figure 3\_14.
- L'énergie métabolique a été fixée théoriquement à 1 met, où les participants étaient en position assise et en état de repos (ISO9920, 1995) durant toute la durée de mesure, comme le montre la figure 3\_14.

Il est à noter que l'expérimentation et l'application du questionnaire se sont étendues sur quatre étapes.

En une première étape, la température ambiante de l'air dans la salle de séjour a été fixée à l'aide de deux climatiseurs et un chauffage. À ce niveau, la température ambiante a été mesurée par l'utilisation de la sonde thermomètre de l'appareil « Testo 480 ».



Figure 3–14: Méthode du travail et outil principal de la recherche (Source : Auteur)

Dans la deuxième étape, nous avons mesuré les degrés de température de plusieurs points de la peau de chaque participant par rapport aux différents scénarios de la température ambiante de l'air. Les mesures ont été effectuées à l'aide de la sonde de température ponctuelle de l'outil de mesure Testo 480, comme le présente la figure 3\_14. Les mesures sont faites au niveau de 18 points du corps de chaque participant afin de calculer la température moyenne de la peau, comme l'illustre la figure 3\_15. Il est à noter que la durée de chaque

mesure était environ de deux (02) minutes afin que la courbe de la température soit stable à un seul chiffre (un seul degré), cette technique a été réalisée à l'aide de l'utilisation du logiciel EasyClimate© compatible avec le Testo 480.

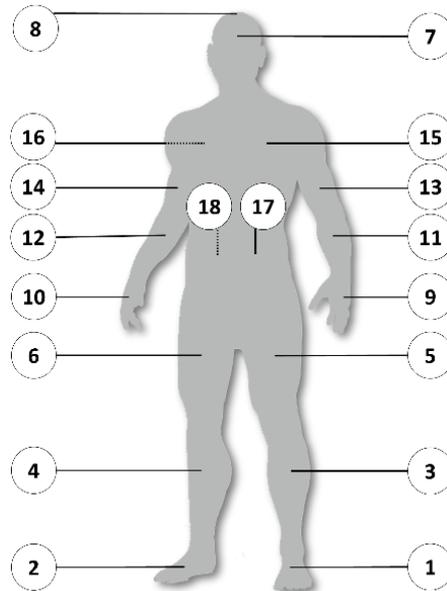


Figure 3–15: Points de mesures (Source : Auteur)

Parallèlement à la deuxième étape, une enquête a été effectuée sur le niveau de sensation et d'acceptation des participants de chaque environnement thermique. Pour cela, nous avons exploité dans notre questionnaire deux questionnements tels que présentés dans le tableau 3\_5 :

Variables	Questionnements						
<b>Sensation thermique</b>	(A) Comment vous vous sentez par rapport à la température de cette salle ?						
	(+3)	(+2)	(+1)	(0)	(-1)	(-2)	(-3)
	Très chaud	Chaud	Légèrement chaud	Neutre	Légèrement froid	Froid	Très froid
<b>Satisfaction</b>	(B) Comment trouvez-vous l'environnement thermique de cette salle ?						
	Acceptable			Inacceptable			

Tableau 3–5: Questionnements (Source : Auteur)

La troisième étape de cette campagne de mesures est semblable à la deuxième étape, elle consiste à mesurer la température orale des participants qui représente la température du noyau central (Maiti 2014). Sachant que le point de mesure de la température orale se situe sous la langue de la bouche du sujet comme le montre la figure 3\_16.

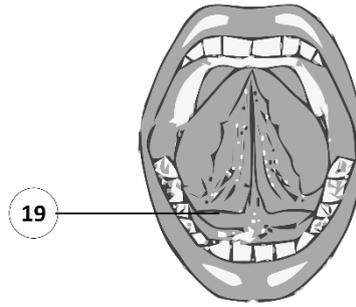


Figure 3–16: Point de mesure de la température du noyau (Source : Auteur)

Dans la dernière étape, l'étude statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) et du logiciel Excel par l'utilisation de plusieurs équations afin de parvenir à l'objectif de cette recherche. Il est impératif de noter que la température moyenne de la peau a été calculée par l'utilisation de l'équation (Eq 3\_1) élaborée par Hardy et DuBois (1938), l'équation (Eq 3\_2) a été utilisée afin de calculer la température du corps (Hardy et DuBois 1938 ; Hardy et Stolwijk 1966) et le calcul de l'énergie métabolique des participants a été réalisé en utilisant l'équation (Eq 3\_3) (Fanger 1970 ; ISO 1993).

$$Température\ moyenne\ de\ la\ peau\ (T_{Peau}) = 0,07 \times T_{Tête} + 0,35 \times T_{Tronc} + 0,14 \times T_{Bras} + 0,05 \times T_{Main} + 0,19 \times T_{Cuisse} + 0,13 \times T_{Jambe} + 0,07 \times T_{Pied} \quad (Eq\ 3\_1)$$

Sachant que (Maiti 2014):

- $T_{Tête} = \frac{T_7 + T_8}{2}$
- $T_{Tronc} = \frac{T_{15} + T_{16} + T_{17} + T_{18}}{4}$
- $T_{Bras} = \frac{T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14}}{2}$
- $T_{Main} = \frac{T_9 + T_{10}}{2}$
- $T_{Cuisse} = \frac{T_5 + T_6}{2}$
- $T_{Jambe} = \frac{T_3 + T_4}{2}$
- $T_{Tronc\ avant\ (Poitrine\ et\ abdos)} = \frac{T_{15} + T_{17}}{2}$
- $T_{Dos} = \frac{T_{16} + T_{18}}{2}$
- $T_{Pieds} = \frac{T_1 + T_2}{2}$

$$T_{Corps} = 0,7 \times T_{Noyau} + 0,3 \times T_{Peau} \quad (Eq\ 3\_2)$$

$$T_{Peau} = 35,7 - 0,0275 \times M \quad (Eq\ 3\_3)$$

### 3.4.2. Caractéristiques de l'échantillon

Participant (no.)	Sexe	Age [année]	Poids [kg]	Taille [m]	IMC [kg/m <sup>2</sup> ]
10	Masculin	22,2 ± 1,14	70,2 ± 4,59	1,79 ± 0,03	21,98 ± 1,71

Les valeurs sont présentées comme le suivant : moyenne ± écart type  
IMC c'est l'indice de masse corporelle

Tableau 3–6: Caractéristiques corporelles de l'échantillon (Source : Auteur)

Le contexte de cette étude se limite à la ville de Biskra, par conséquent, l'habitant de cette ville est considéré comme l'objet principal de ce travail, d'où nous avons opté pour un échantillon intentionnel de dix participants.

Le tableau 3\_6 illustre l'homogénéité corporelle des participants par un indice de masse corporelle (IMC) qui touche le 21,98 kg/m<sup>2</sup> et un écart type qui touche seulement le 1.71 kg/m<sup>2</sup>. Cela indique clairement que tous les participants ont une corpulence normale. L'IMC est calculé selon l'équation 3\_4. Ils sont âgés de 22.2 ans en moyenne avec un écart type très bas de 1.14 an. Le poids et la taille moyenne de ces participants touchent respectivement le 70.2 kg et le 1.79 m avec des écarts types qui arrivent à 4.55 kg et 0.03 m.

$$IMC = \frac{Poids}{Taille^2} \quad (Eq\ 3\_4)$$

### 3.4.3. Résultats et discussions

#### 3.4.3.1. Effet de la température de l'air sur les températures corporelles

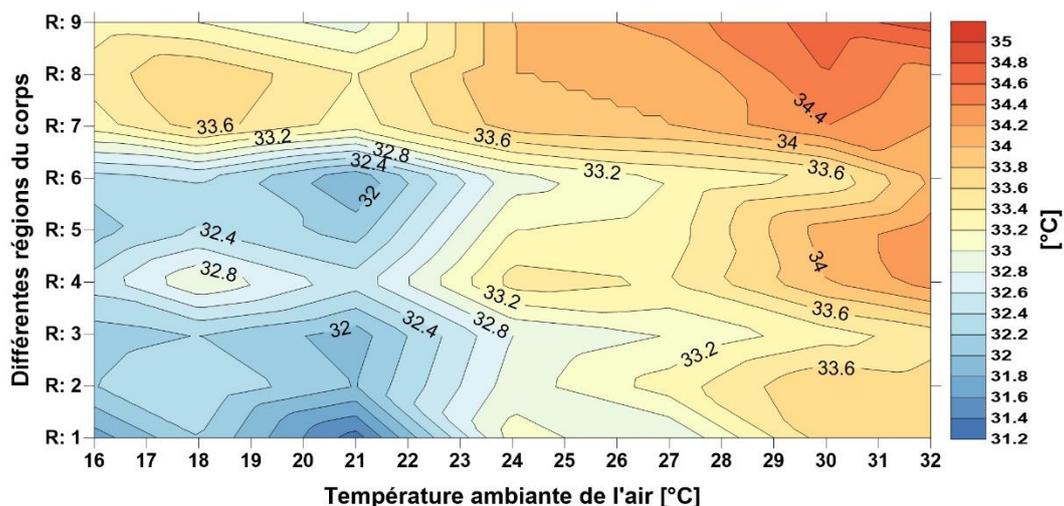


Figure 3–17: Température régionale de la peau en fonction de la température ambiante de l'air (Source : Auteur)

Par la lecture des températures régionales de la peau, nous constatons que la figure 3\_17 présente une cartographie représentative des variations de la température régionale (local) de la peau en fonction de la température ambiante de l'air. Sachant que le (R :1), (R :2), (R :3), (R :4), (R :5), (R :6), (R :7), (R :8), (R :9) représentent respectivement : les régions des pieds, des jambes, des cuisses, des mains, des avant-bras, des biceps, du dos, de (la poitrine et l'abdos) et la région de la tête. Cette figure nous permet d'affirmer que plus la température ambiante de l'air augmente plus les températures régionales du corps augmentent à leur tour. Cette figure fait ressortir également que la région de la tête a une adaptation thermique locale plus faible que celle des autres régions du corps (Boutcher, Maw et Taylor 1995). Il est à noter aussi que cette région est plus sensible à la chaleur par rapport aux autres régions (Stevens, Marks et Simonson, 1974 ; Maiti 2014), où elle prend les valeurs maximales pendant tous les niveaux des environnements thermiques :  $T_{\text{Tête}}$  touche le 35.2°C lorsque la température de l'air arrive à 16°C, tandis qu'elle atteint le 33.1°C lorsque la température de l'air touche le 32°C. Par contre, la région des pieds prend des valeurs minimales par rapport aux autres régions, où la  $T_{\text{Pied}}$  prend le 31.5°C à 16°C et arrive à 33.8°C lorsque la température de l'air atteint le 32°C.

	Température ambiante de l'air	Température moyenne de la peau	Température oral (noyau central)	Température du corps
Température ambiante de l'air	1	0,969**	0,972**	0,989**
Température moyenne de la peau	0,969**	1	0,925**	0,978**
Température oral	0,972**	0,925**	1	0,984**
Température du corps	0,989**	0,978**	0,984**	1

**\*\*.** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral)

*Tableau 3–7: Matrix de corrélation de Pearson entre la température ambiante de l'air, la température moyenne de la peau, la température du noyau et la température du corps (Source : Auteur)*

Par ailleurs, la cartographie thermique des participants soumis à l'expérimentation relève également que la variation entre les degrés des températures régionales de la peau diminue lorsque la température de l'air augmente, d'où l'écart type entre les différentes régions de la peau touche le 0.7°C lorsque la température ambiante de l'air arrive à 16°C,

tandis que la valeur de l'écart type diminue à 0.59 °C, lorsque la température de l'air augmente à 32°C.

Le tableau 3\_7 illustre les valeurs du coefficient de corrélation Pearson (R) entre les différentes variables étudiées : la température ambiante de l'air  $T_{\text{air}}$ , la température moyenne de la peau  $T_{\text{Peau}}$ , la température du noyau central  $T_{\text{Noyau}}$  et la température du corps  $T_{\text{Corps}}$ . D'après ce tableau, on observe la présence d'une légère variation entre les valeurs enregistrées du coefficient de corrélation Pearson (R) entre les différents types de température avec un écart type très bas, qui ne dépasse pas la valeur 0.022, où, le coefficient de corrélation R atteint le 0.969 entre  $T_{\text{air}}$  et  $T_{\text{Peau}}$ , le 0.972 entre  $T_{\text{air}}$  et  $T_{\text{Noyau}}$ , le 0.989 entre  $T_{\text{air}}$  et  $T_{\text{Corps}}$ , le 0.925 entre  $T_{\text{Peau}}$  et  $T_{\text{Noyau}}$ , le 0.978 entre  $T_{\text{Peau}}$  et  $T_{\text{Corps}}$  et le 0.984 entre  $T_{\text{Noyau}}$  et  $T_{\text{Corps}}$ . Nous notons, ces valeurs sont positives et très élevées, car elles sont très proches de la valeur 1, ainsi que les corrélations sont significatives au niveau 0.01 (bilatéral). Cela signifie clairement qu'il existe de très fortes corrélations entre les températures corporelles (la température moyenne de la peau, la température du noyau et la température du corps) et la température ambiante ainsi qu'entre les températures corporelles elles même, alors que plus la température de l'air est élevée dans la zone ( $15 < T_{\text{air}} < 32$ ) plus les températures moyennes de la peau, du noyau central et du corps sont élevées. Également, nous pouvons affirmer que cette lecture est la même pour les corrélations entre les différentes températures corporelles.

La figure 3\_18 présente les variations des températures corporelles en fonction de la température ambiante de l'air sous format de nuage des points. D'après la lecture de cette figure, nous observons en premier lieu qu'il existe des variations notables entre les degrés des différentes températures corporelles, où les degrés de la température de noyau sont plus élevés par rapport à celle du corps et de la peau, sachant que les degrés les plus bas et les plus divergents sont enregistrés pour la température moyenne de la peau. Par la lecture des variations des degrés de la température moyenne de la peau en fonction de la température ambiante de l'air, nous trouvons que la température moyenne de la peau la plus élevée est de 34.26°C lorsque la température ambiante de l'air atteint le 30°C, tandis que la plus basse arrive à 32.46 °C quand la température de l'air est de 16°C. La diminution de la température moyenne de la peau lorsque la température ambiante de l'air dépasse le 30°C est due au phénomène de la sudation qu'on peut la décrire comme une réaction de protection physiologique intervenue par le corps contre l'augmentation énorme de la chaleur. En ce qui

concerne les degrés de la température du corps et la température du noyau central, les valeurs minimales 34.87°C et 35.9°C ont été enregistrés respectivement quand la température de l'air touche le 16°C, lorsque la température ambiante de l'air atteint le 32°C, les degrés maximaux de la température du corps et de la température de noyau ont arrivés à 36.13°C et 37°C, respectivement. En outre, ces variations du niveau de la température du noyau et de la température du corps en fonction de la température de l'air sont moins importantes que celle de la température moyenne de la peau. À ce sujet, la légère variation des degrés de la température du noyau central affirme que l'être humain est peut-être considéré comme un endotherme (Savourey, Launay et Melin 2003), homéotherme (Besancenot 1990). En effet, l'être humain se caractérise par une température centrale presque stable, qui se situe normalement proche de 37°C (Imessad et Messaoudène 2008), avec un degré moyen de 36,36°C enregistré dans la présente étude et un écart type très bas qui touche seulement le 0.39°C malgré la grande variation du degré de la température ambiante de l'air de 16°C à 32°C.

Également, la figure 3\_18 fait ressortir les équations (3\_5), (3\_6), et (3\_7) des courbes de tendances, celle-ci nous permettent de calculer et d'estimer la température moyenne de la peau de l'habitant de Biskra ( $y$  de l'équation 3\_5), la température du noyau central ( $y$  de l'équation 3\_6) et la température du corps ( $y$  de l'équation 3\_7) pour une certaine condition de la température ambiante de l'air ( $x$ ) située dans la gamme suivante : ( $16 \leq T_{air} \leq 32$ ).

$$\text{Lorsque : } y = 0,1228x + 30,371 \quad (\text{Eq 3}_5)$$

$$\text{Donc : } T_{\text{Peau des Biskris}} = 0,1228 \times T_{\text{air}} + 30,371 \quad (\text{Eq 3}_5)$$

$$\text{Lorsque : } y = 0,0639x + 34,822 \quad (\text{Eq 3}_6)$$

$$\text{Donc : } T_{\text{Noyau des Biskris}} = 0,0639 \times T_{\text{air}} + 34,822 \quad (\text{Eq 3}_6)$$

$$\text{Lorsque : } y = 0,0816x + 33,487 \quad (\text{Eq 3}_7)$$

$$\text{Donc : } T_{\text{Corps des Biskris}} = 0,0816 \times T_{\text{air}} + 33,487 \quad (\text{Eq 3}_7)$$

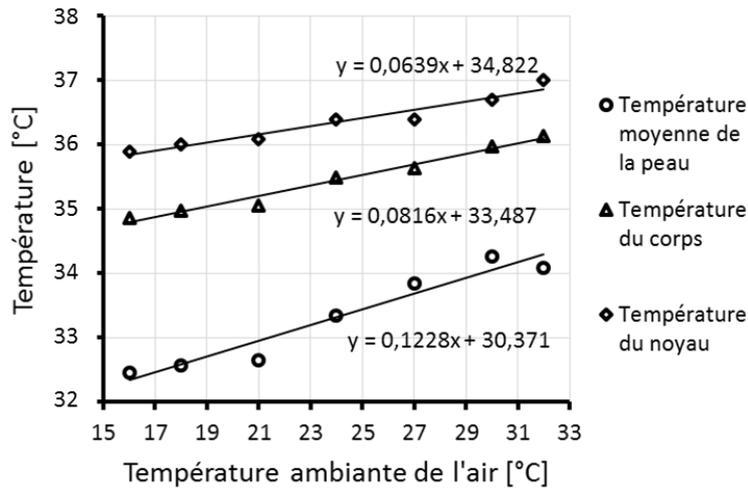


Figure 3–18: Corrélations entre la température de l'air et les différentes températures corporelles (température moyenne de la peau, température du noyau et température du corps) (Source : Auteur)

### 3.4.3.2. Effet de la température de l'air sur l'énergie métabolique

Température ambiante de l'air [°C]	Métabolisme fixé théoriquement [met]	Énergie métabolique calculée [W/m <sup>2</sup> ]	Métabolisme calculé [met]
16	1	58,45	1,01
18	1	52,43	0,90
21	1	67,21	1,16
24	1	85,51	1,47
27	1	110,71	1,90
30	1	113,87	1,96
32	1	117,79	2,03

1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> (Olesen, 1982)

Tableau 3–8: Variation de l'énergie métabolique en fonction de la température ambiante de l'air (Source : Auteur)

Bien que les participants sont en position assise et en état de repos durant toute la durée de l'expérimentation, c'est-à-dire que le niveau métabolique est égal théoriquement à 1 met. Nous constatons que les données du tableau 3\_8 indiquent une légère augmentation de l'énergie métabolique des participants de 1.01 met [Activité : assis, au repos (Auliciems et Szokolay 1997)] lorsque  $T_{\text{air}} = 16^{\circ}\text{C}$  à 2.03 met [Activité : léger travail à la maison (Auliciems et Szokolay 1997)] lorsque  $T_{\text{air}} = 32^{\circ}\text{C}$ . Cela explique clairement que la température ambiante de l'air a un impact évident sur l'énergie métabolique des occupants, conséquence du changement des températures corporelles comme on a vus précédemment, ainsi que du niveau des sensations thermiques.

### 3.4.3.3. Effet de la température de l'air sur la sensation thermique

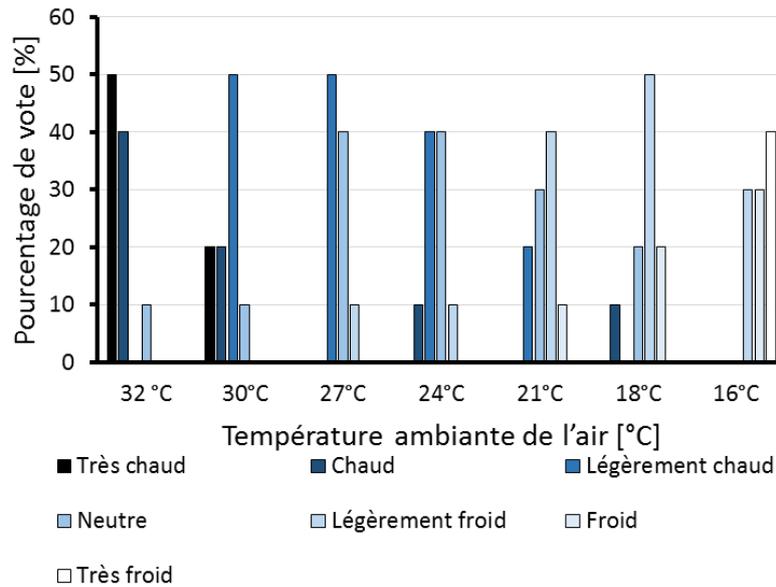


Figure 3–19: Pourcentage de vote actuel des participants par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique (Source : Auteur)

Le confort thermique est un aspect essentiel qui indique la satisfaction des occupants envers leur environnement (Schellen et al. 2012). Concernant la température ambiante de l'air, et dans le but de proposer une gamme de la zone confortable des habitants de la ville de Biskra, nous avons fondé notre étude sur la définition du confort thermique présentée par Nematchoua, Tchinda et Orosa (2014) afin de bien interpréter les résultats obtenus dans la présente recherche, où ils affirment que : « *le confort thermique est défini comme la situation dans laquelle une personne ne sent ni froid ni chaud dans une atmosphère donnée* » (Nematchoua, Tchinda et Orosa 2014).

La figure 3\_19 présente les pourcentages du vote actuel des participants par rapport à la température ambiante de l'air. À la base des pourcentages de vote indiqués dans cette figure, nous constatons que 90% des participants étaient dans un état d'inconfort dû au chaud (très chaud, chaud), où 50% de ces participants sentent qu'il faisait très chaud et 40% entre eux ont répondu qu'il faisait chaud lorsque la température de l'air atteint le 32°C. Également, 40% des participants ont été dans cette zone d'inconfort lorsque la température de l'air a baissée à 30°C, et 50% d'entre eux ont affirmé qu'ils se sentaient légèrement chaud. Par

ailleurs, le pourcentage des participants qui étaient dans un état confortable (légèrement chaud, neutre, légèrement froid) était de 60% au 30°C, de 100% au 27°C, de 90% au 24°C, de 80% au 21°C et de 40% au 18°C. D'autre part, nous observons que 70% des participants étaient dans un état d'inconfort dû au froid (très froid, froid) lorsque la température ambiante de l'air a été fixée à 16°C, où 40% des participants se sentaient très froid et 30% d'entre eux ont eu une sensation qu'il faisait froid.

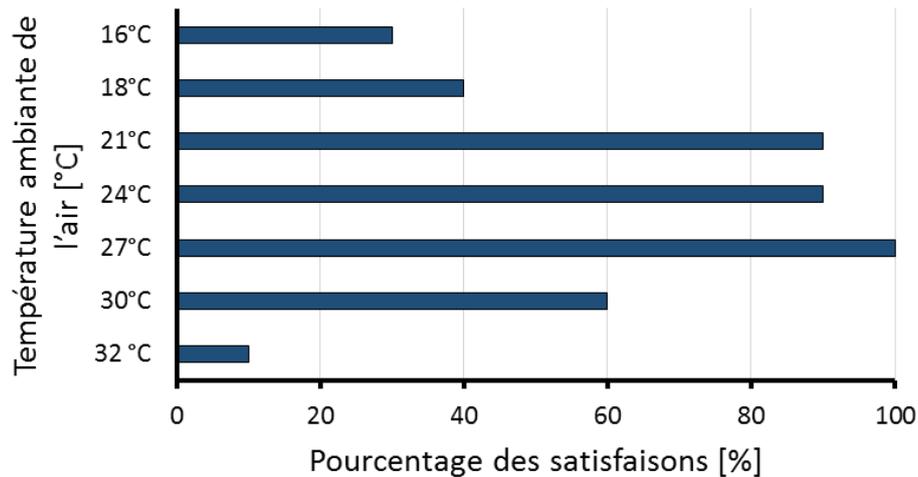


Figure 3–20: Variations du pourcentage de satisfaction en fonction de la température de l'air (Source : Auteur)

En outre, la figure 3\_20 relève que les degrés de la température acceptable pour les participants sont situés entre 21°C et 27°C, où les pourcentages des participants satisfaits atteignent 90% par rapport aux environnements qui se caractérisent par des degrés de température entre 21°C et le 24°C, ainsi qu'ils atteignent le 100% à 27°C. D'autre part, on observe que 60% des participants étaient satisfaits lorsque la température est arrivée à 30°C et le 40% satisfaisait dans l'environnement thermique qui se caractérise par un degré de température de l'air proche de 18°C. De cela, nous pouvons déduire que la zone confortable des habitants de la ville de Biskra d'après les résultats obtenus se situe dans la zone ( $18 < T_{\text{air}} < 30$ ) (Khoukhi et Fezzioui 2012).

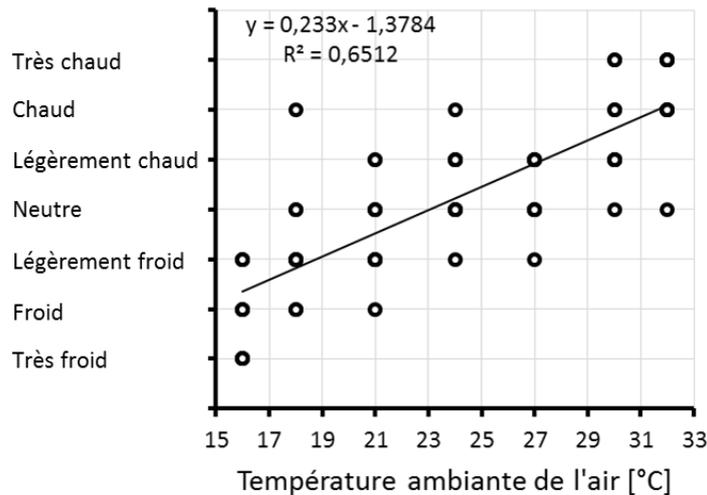


Figure 3–21: Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température ambiante de l'air  
(Source : Auteur)

Par ailleurs, la figure 3\_21 fait ressortir qu'il existe une très forte corrélation entre le niveau de la sensation thermique et la température ambiante de l'air avec un coefficient de corrélation qui touche le 0.807, cela veut dire que plus les degrés de température augmentent plus la sensation thermique augmente du très froid au très chaud. Également, la courbe de tendance de cette figure présente l'équation 3\_8 qui nous permet d'estimer le niveau de la sensation thermique de l'habitant de la ville de Biskra ( $y$ ) envers n'importe quel degré de température de l'air ( $x$ ) situé dans la gamme suivante : ( $16 \leq T_{air} \leq 32$ ). Sachant que les niveaux de la sensation thermique se situent entre la valeur 1 (très froid) et la valeur 7 (très chaud).

$$\text{Lorsque : } y = 0,233x - 1,3784 \quad (\text{Eq 3}_8)$$

$$\text{Donc : Niveau de la sensation thermique d'un Biskri} = 0,233 \times T_{air} - 1,3784 \quad (\text{Eq 3}_8)$$

#### 3.4.3.4. Corrélations entre la sensation thermique et les températures corporelles

La figure 3\_22 illustre les variations du niveau de la sensation thermique des participants en fonction de la température moyenne de leur peau. D'après cette figure nous constatons qu'il existe une forte corrélation entre ces deux variables, où le R touche la valeur 0.753. Cela indique que plus la température moyenne de la peau augmente plus le niveau de la sensation thermique augmente parallèlement du niveau très froid au niveau très chaud. À partir de ce constat, cette figure présente l'équation (3\_9) de la courbe de tendance,

rappelons que le (y) représente le niveau de la sensation thermique des habitants de la ville de Biskra, tandis que le (x) présente la température moyenne de leurs peaux en (°C).

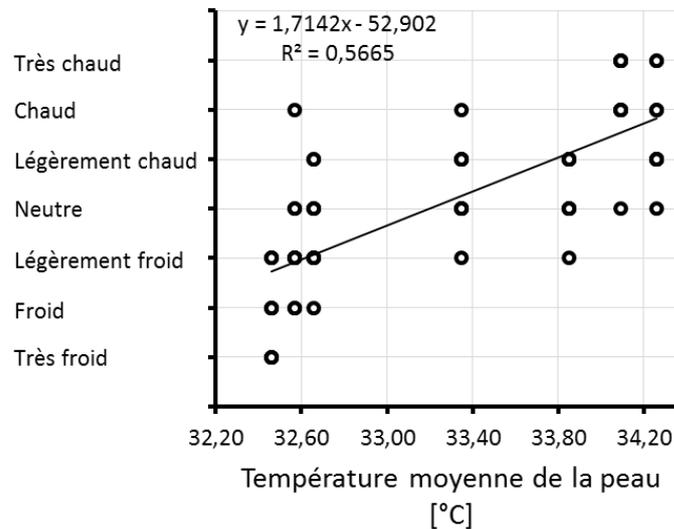


Figure 3–22: Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température moyenne de la peau (Source : Auteur)

$$y = 1,7142x - 52,902 \quad (\text{Eq 3}_9)$$

$$\text{Niveau de la sensation thermique d'un Biskri} = 1,7142 \times T_{\text{peau}} - 52,902 \quad (\text{Eq 3}_9)$$

Également, de très fortes corrélations ont été enregistrées respectivement entre le niveau de la sensation thermique des participants et les températures du noyau d'une part, et avec la température du corps d'autre part, comme le montrent les figures 3\_23 et 3\_24. Les interprétations de ces deux figures sont toutefois semblables à celle de la précédente, où le R entre le niveau de la sensation thermique et la température du noyau arrive à la valeur 0.809, figure 3\_23. Par ailleurs, il atteint le 0.779 entre le niveau de la sensation et la température du corps, figure 3\_24. Ces figures représentent également les équations (3\_10) et (3\_11) des courbes de tendances. Sachant que (y) représente le niveau de la sensation thermique des habitants Biskra pour les deux équations, tandis que la valeur (x) représente la température du noyau en (°C) pour l'équation (3\_10), et la température du corps pour l'équation (3\_11).

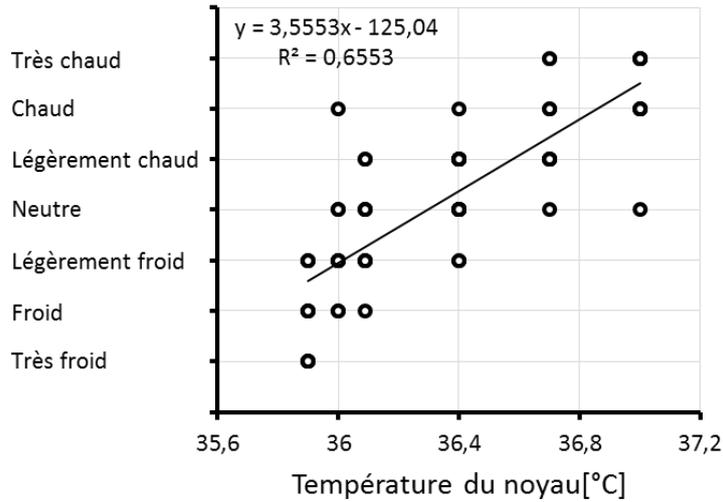


Figure 3–23: Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température du noyau (Source : Auteur)

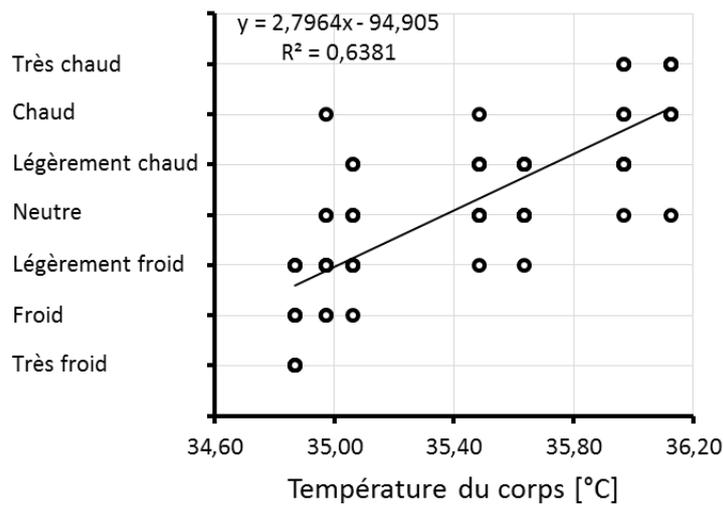


Figure 3–24: Corrélation entre le niveau de satisfaction et la température du corps (Source : Auteur)

$$y = 3,5553x - 125,04 \quad (\text{Eq 3}_{10})$$

Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $3,5553 \times T_{\text{Noyau}} - 125,04$  (Eq 3<sub>10</sub>)

$$y = 2,7964x - 94,905 \quad (\text{Eq 3}_{11})$$

Niveau de la sensation thermique d'un Biskri =  $2,7964 \times T_{\text{Corps}} - 94,905$  (Eq 3<sub>11</sub>)

Également, nous pouvons déduire que l'étude des caractéristiques corporelles de notre échantillon montre que la température ambiante de l'air a un grand impact sur le niveau du confort thermique des habitants de la ville de Biskra. En outre, cette partie d'étude démontre qu'il existe de fortes corrélations entre les températures corporelles des habitants du cas d'étude (température moyenne de la peau, température du noyau et la température du corps), le niveau de la sensation thermique et la température ambiante de l'air de l'espace architectural, notamment dans les milieux résidentiels.

Finalement, cette partie de la recherche fait ressortir que par l'utilisation des équations élaborées, nous pouvons arriver à faire une estimation sur la température moyenne de la peau des habitants de la ville de Biskra (Eq 3\_5 et Eq 3\_9), la température de leur noyau (Eq 3\_6 et Eq 3\_10), la température de leur corps (Eq 3\_7 et Eq 3\_11) et même sur leurs niveaux de sensation (Eq 3\_8, Eq 3\_9, Eq 3\_10 et Eq 3\_11) par rapport à une température ambiante de l'air située dans la zone ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.5. Approche méthodologique

Ce travail de recherche repose sur une approche comparative entre l'habitat collectif social et promotionnel, à partir d'une évaluation quantitative et qualitative, objective et subjective du confort thermique et lumineux.

Pour essayer de répondre à nos questionnements énoncés dans la problématique et de vérifier nos hypothèses, nous avons utilisé une méthode expérimentale basée sur les deux dimensions du confort : i) la première est une expérimentation subjective des occupants, achevée à l'aide d'un questionnaire comme outil de recherche. ii) la deuxième est une expérimentation objective effectuée par une simulation informatisée à l'aide de deux logiciels Radiance© et Daysim© comme outils d'évaluation de la performance de l'environnement lumineux, et du logiciel TRNSYS© comme outil d'évaluation du confort thermique.

En premier lieu, et afin d'aborder la première expérimentation, nous avons utilisé une méthode d'expérimentation subjective des occupants et de tenir en compte la sensation de l'être humain dans notre étude, afin d'évaluer le confort thermique et lumineux dans les logements de l'habitat collectif social et promotionnel de la ville de Biskra. Pour cela, cette

partie expérimentale est basée sur l'usage de la technique de l'enquête par questionnaire afin de toucher le côté subjectif ou la sensation de l'habitant.

Dans une deuxième étape nous avons choisi deux échantillons pour les deux types d'habitats collectifs (social et promotionnel) et nous avons choisi trois logements pour chaque échantillon, afin de simuler et évaluer les performances thermiques et lumineuses des espaces baies de nos modèles « les séjours de ces logements » par les deux logiciels de simulation pendant les deux périodes (estivale et hivernale) dans les orientations disponibles dans l'état réel. D'autre part, le choix des indicateurs à étudier est basé sur l'interaction de ces indicateurs dans les deux exigences thermique et lumineuse.

Et afin d'effectuer une évaluation parfaite du confort thermique et lumineux qui est un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique et lumineux, dans les deux types de l'habitat collectif (social et promotionnel), nous avons appliqué la méthode comparative entre les résultats des deux méthodes d'expérimentation objective et subjective. La figure 3\_25 synthétise la méthodologie adoptée pour notre expérimentation.

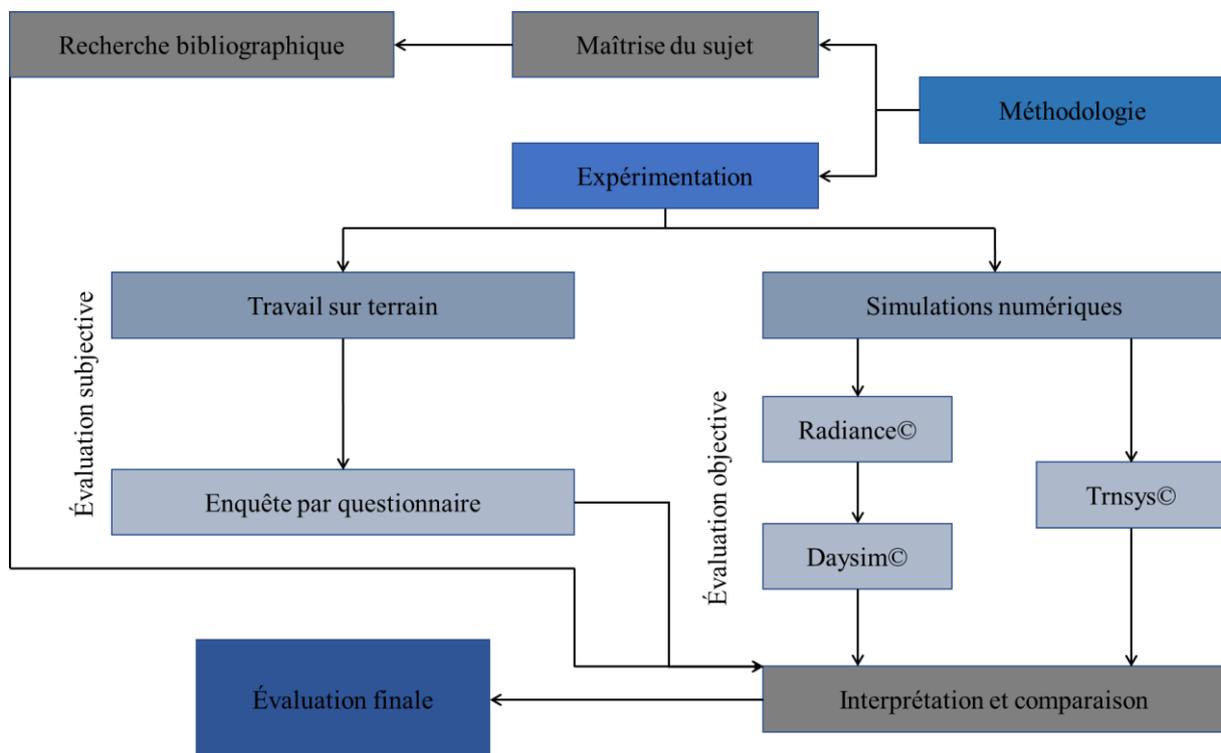


Figure 3–25: Méthodologie de la recherche (Modèle conceptuel) (Source : Auteur)

### 3.5.1. Questionnaire

Dans les références littéraires développées dans le premier et le deuxième chapitre, nous avons mis en évidence l'importance de l'utilisation du questionnaire comme outil de la recherche afin d'évaluer subjectivement le confort thermique et lumineux.

Notre questionnaire fut élaboré avec l'apport de chercheurs du laboratoire LACOMOFA, ainsi qu'avec l'aide de plusieurs chercheurs de l'université de Biskra spécialistes en sciences humaines et sociales notamment en psychologie.

Dans une première étape, notre questionnaire a été présenté en français. Ensuite, un prétest a été effectué avec la participation des habitants de la cité 500 logements et la cité 200 logements de la ville de Biskra, ainsi que par la participation de quelques doctorants dans les différents domaines (architecture, sport et informatique) afin de vérifier l'appréhension et le niveau de la compréhension de toutes les questions énoncées dans le questionnaire. Ensuite, quelques modifications ont été portées sur le questionnaire. Après, le questionnaire a été traduit en langue arabe en utilisant quelques mots en parler local biskri, afin que le questionnaire soit compréhensible par tous les participants des logements promotionnels et sociaux du cas d'étude. Le questionnaire final est présenté dans l'annexe B.

Il est à noter que les résultats obtenus par le prétest n'ont pas été pris en compte dans les résultats finaux de notre enquête.

La distribution de notre questionnaire a été réalisée avec l'aide de plusieurs doctorants, des étudiants et des agents de la société Nelson, ces derniers sont des spécialistes dans le domaine de l'enquête par questionnaire. Il est à noter que nous avons distribué 736 questionnaires entre tous les logements. Par la suite, nous avons récupéré 427 du nombre total, enfin, seulement 351 questionnaires ont été acceptés pour cette recherche.

Le questionnaire utilisé pour cette recherche est structuré sur trente-huit (38) questions de types fermées qui tournent autour de deux principaux concepts qui sont : (i) informations générales, et (ii) confort des logements. À ce titre, le tableau 3\_9, illustre les concepts, les dimensions, les composantes et les questions utilisés pour cette enquête.

À ce sujet, le premier concept se compose de deux dimensions intitulées : (i) information personnelle et (ii) environnement physique. Dans la première dimension, deux

composantes ont été proposées qui sont : la composante de l'âge et du genre, et la composante du nombre des occupants par logement. D'après ces deux composantes, trois questions ont été proposées (Q1, Q2 et Q3). Ces questions peuvent fournir aux chercheurs des informations sur l'âge, le sexe et le nombre d'occupants par logement pour leur échantillon. La raison de l'utilisation de ces informations est de tirer des scénarios plus réalistes pour achever les simulations numériques (thermique et lumineuse). Tandis que les deux composantes de la dimension « Environnement physique » qui sont : (i) surface de la salle de séjour, et (ii) avis de l'occupant, nous avons proposé trois questions (Q4, Q5, Q6), bien que les informations qu'on peut tirer d'après ces trois questions ne sont pas vraiment nécessaires dans cette recherche, sachant qu'ils sont utilisés seulement pour mettre l'habitant en situation de confiance dans cette enquête.

Après avoir désigné les informations générales de l'habitat des logements collectifs social et promotionnel, nous avons proposé la deuxième partie (concept) de notre questionnaire intitulé : « Questionnaire du confort ». À ce sujet, l'auteur a estimé qu'il est impératif de diviser ce concept en quatre (4) dimensions principales qui sont :

- Sensation de l'occupant envers l'effet du soleil ;
- Comportements humains ;
- Confort thermique ;
- Confort lumineux.

Dans la première dimension de ce concept «Sensation de l'occupant envers l'effet du soleil», nous avons souhaité de tirer la meilleure partie possible des informations sur la sensation de l'habitant envers l'effet du soleil au niveau (i) de la lumière naturelle « Q7, 10, 11, 12, 13, 14, 15), et au niveau (ii) du rayonnement solaire (Q8, 9, 16), et (iii) au niveau de la combinaison entre la lumière et les rayonnements solaires dans la question (Q17).

D'autre part, et d'après la deuxième dimension de ce concept «Comportements humains », nous avons identifié les différentes activités des habitants des logements collectifs sociaux et promotionnel au niveau de leurs salles de séjour d'après la question (Q18) , d'avoir une idée sur le type d'occultation utilisé par ces habitants (Q19), du système de climatisation/refroidissement utilisé (Q22, Q23) et enfin de connaître le système d'éclairage utilisé (Q24).

Dans le but de réaliser une évaluation subjective du confort thermique, nous avons proposé les questions (Q25, Q29) afin de vérifier le niveau de la sensation thermique des habitants. D'autre part, nous avons proposé les questions (Q26 et Q30) pour évaluer le niveau du confort thermique, les questions (Q27 et Q31) pour vérifier le niveau d'acceptation des habitants de l'environnement thermique de leurs salles de séjour. Finalement nous avons présenté les questions (Q28 et Q32) afin d'évaluer le niveau de l'humidité.

Par ailleurs, et dans l'objectif d'évaluer subjectivement le confort lumineux dans les logements collectifs sociales et promotionnelles, les questions (Q33 et Q36), (Q34 et Q37), (Q35 et Q38) ont été proposées, respectivement, afin d'évaluer le niveau de la sensation de l'habitant envers l'environnement lumineux de sa salle de séjour, son niveau du confort lumineux, et son niveau d'acceptation de l'environnement lumineux de la salle de séjour.

Concepts	Dimensions	Composantes	Questions
Première partie : Informations générales	Informations personnelles	Âge et sexe	Q1 : Âge Q2 : Sexe
		Nombre d'occupants	Q3 : Combien de personnes vivent dans votre logement ?
	Environnement physique	Surface de la salle de séjour	Q4 : Êtes-vous satisfait de la surface actuelle de votre salle de séjour ?
		Avis de l'occupant	Q5 : Préférez-vous que la surface de votre salle de séjour soit de : Q6 : Concernant votre salle de séjour, êtes-vous satisfait de la taille de vos fenêtres ?
Deuxième partie : Questionnaire du confort	Sensations de l'occupant envers l'effet du soleil	Au niveau de la lumière	Q7 : Généralement, combien d'heures utilisez-vous la lumière naturelle pour bien éclairer votre salle de séjour ?
			Q10 : La salle de séjour doit avoir une distribution uniforme de l'éclairage ?
			Q11 : Pendant la période estivale, combien d'heures profitez-vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?
			Q12 : En été, combien d'heures préférez-vous que la lumière naturelle doive être utilisée dans votre salle de séjour ?
			Q13 : Durant la période hivernale, combien d'heures profitez-vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?
		Au niveau des rayonnements solaires	Q14 : En hiver, combien d'heures de la journée avez-vous utilisé votre système de chauffage ?
			Q15 : Acceptez-vous que l'effet global de la lumière naturelle sur votre salle de séjour soit satisfaisant pour avoir un environnement lumineux optimal ?
			Q8 : Pendant l'hiver, combien d'heures utilisez-vous les rayonnements solaires pour chauffer votre salle de séjour ?
			Q9 : En hiver, combien d'heures préférez-vous que les rayonnements solaires doivent pénétrer dans votre salle de séjour ?
			Q16 : Acceptez-vous que l'effet global des rayonnements solaires sur votre salle de séjour soit satisfaisant pour avoir un environnement thermique acceptable ?

	Au niveau : de la lumière naturelle et des rayonnements solaires)	Q17 : À l'aide du tableau suivant, montrez combien de fois pensez-vous que la lumière du soleil vous apporter ces problèmes au niveau de votre salle de séjour : (Une réponse par ligne)
Comportements humains (Human behaviors)	L'activité de l'occupant	Q18 : Concernant votre salle de séjour, quelle est votre activité principale pendant la journée ?
	Type d'occultation	Q19 : Pour éviter les rayonnements solaires, utilisez-vous généralement une occultation par :
	Système de climatisation - refroidissement	Q20 : Acceptez-vous que l'utilisation d'un système de climatisation (refroidissement) reste une tâche obligatoire pendant l'été pour avoir un environnement thermique optimal dans votre salle de séjour ?
		Q21 : En été, combien d'heures de la journée utilisez-vous votre système de climatisation ?
	Système de chauffage	Q22 : Pendant l'hiver, avez-vous besoin d'un système de chauffage pour avoir un environnement thermique acceptable dans votre salle de séjour ?
Q23 : En hiver, combien d'heures de la journée avez-vous utilisé votre système de chauffage ?		
Confort thermique	Système d'éclairage	Q24 : Généralement, combien d'heures de la journée avez-vous allumé la lumière artificielle dans votre salle de séjour ?
	Niveau de la sensation thermique de l'occupant	Q25 : Pendant la période estivale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?
		Q29 : Pendant la période hivernale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?
	Niveau du confort thermique	Q26 : Généralement, cette sensation implique un état :
		Q30 : Généralement, cette sensation implique un état :
	Acceptation de l'environnemen t thermique	Q27 : D'après vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période estivale est :
		Q31 : Pour vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période hivernale est :
Niveau de l'humidité	Q28 : En été, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?	
	Q32 : En hiver, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?	
Confort lumineux	Satisfaction de l'occupant envers l'environnemen t lumineux	Q33 : En été, estimez-vous que l'environnement lumineux de votre salle de séjour est satisfaisant ?
		Q36 : En hiver, acceptez-vous que l'environnement lumineux de votre salle de séjour soit satisfaisant ?
	Niveau du confort lumineux	Q34 : Pendant la période estivale, êtes-vous généralement dans un état :
		Q37 : Pendant la période hivernale, êtes-vous généralement dans un état :
	Acceptation de l'environnemen t lumineux	Q35 : Pour vous, l'environnement lumineux de votre salle de séjour pendant la période estivale est :
		Q38 : D'après vous, l'environnement lumineux de votre salle de séjour pendant la période hivernale est :

Tableau 3-9: Concepts, dimensions, composantes et questions des questionnaires (Source : Auteur)

### 3.5.2. Simulation

Durant les dernières années, la simulation informatique est devenue un outil inévitable d'évaluation quantitative et qualitative du confort thermique et lumineux parallèlement aux expérimentations basées sur les mesures in situ. En outre, plusieurs chercheurs ont utilisé le logiciel TRNSYS© pour simuler la température de l'air et la température opérative afin d'évaluer le confort thermique dans les espaces architecturaux.

D'autre part, nous avons trouvé dans la littérature scientifique que le logiciel Radiance© a été largement utilisé pour effectuer des simulations lumineuses. De même, le logiciel Daysim© est considéré également comme un logiciel utile d'évaluation quantitative et qualitative du confort lumineux dans les espaces architecturaux par l'utilisation des indices d'évaluation quantitative de la lumière naturelle comme le facteur de la lumière du jour (DF/FLJ), l'autonomie de la lumière du jour (DA), l'autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ ) et l'éclairement naturel utile (UDI).

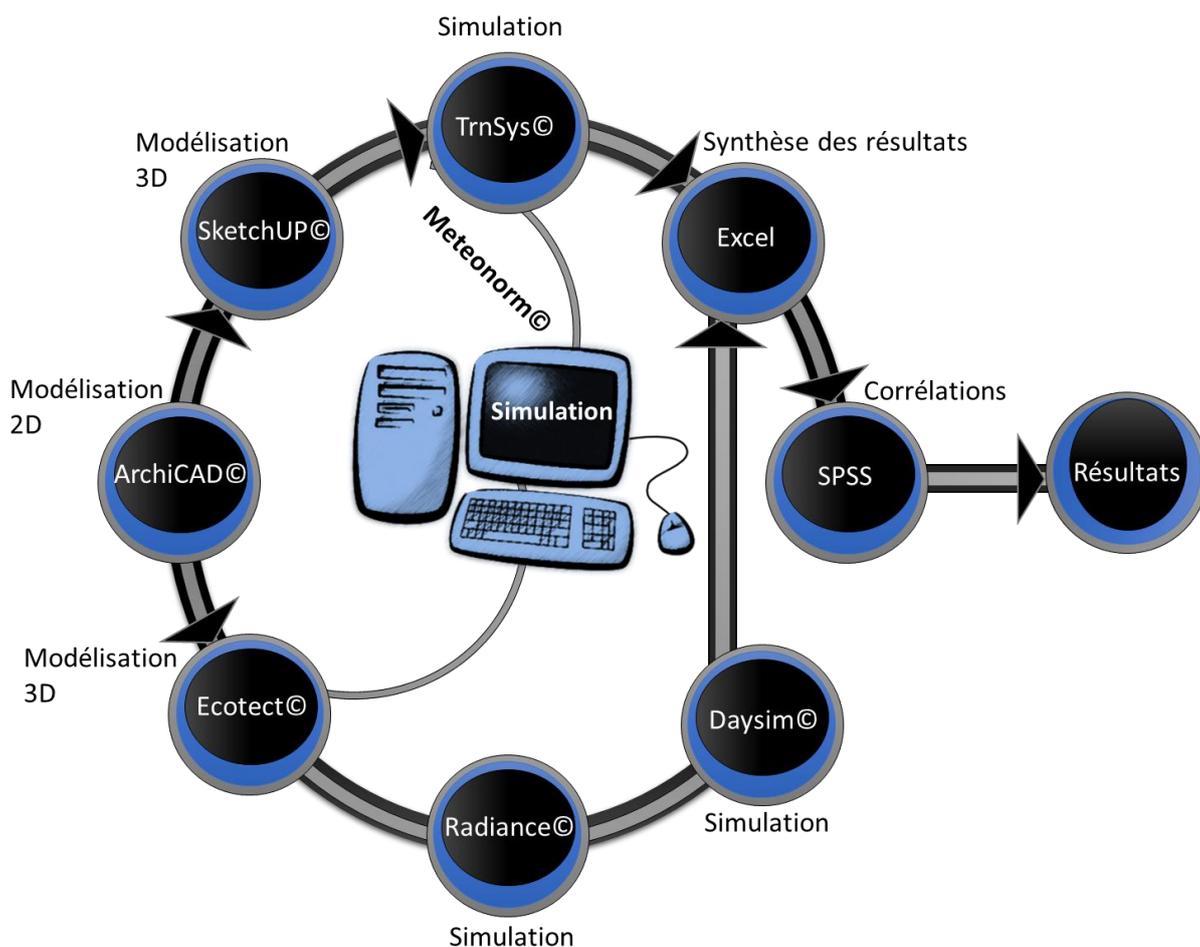


Figure 3–26: Processus du travail (Source : Auteur)

En effet, le processus de ce travail de recherche a été fortement intégré au BIM « Building Information Modeling » comme le montre la figure 3\_26.

Dans une première étape, la réalisation des modèles à simuler a été effectuée en 2D à l'aide du logiciel ArchiCAD.

La deuxième étape consiste à exporter les modèles sous format (.dxf) afin qu'ils soient compatibles avec le logiciel Google SketchUp®. À ce niveau, nous proposons la réalisation de modèles en 3D définies et subdivisées en zones thermiques à l'aide de TrnSys plug-ins afin que le volume soit exporté sous format (.idf) compatible au TRNSYS® studio.

Dans la troisième étape, le même scénario des apports interne a été fixé au niveau de TRNBuild pour vingt-quatre séjours obtenus pour cette recherche, afin d'évaluer le niveau du confort thermique par une méthode comparative entre ces séjours. À ce niveau, nous avons choisi le scénario d'occupation le plus réaliste en considérant une occupation de cinq personnes pour chaque logement comme le montre la Figure 3\_27, sachant que :

- L'infiltration a été fixée à 0.8 vol/h ;
- L'énergie métabolique des habitants à 1.2 met ;
- La résistance thermique des vêtements à 1.5 clo ;
- La fermeture des vitrages a été considérée comme scénario de l'état des fenêtres ;
- Les gains internes sont dus aux équipements (TV : 540 KJ/h et PC) ;
- La puissance d'éclairage est de quatre lampes pour chaque séjour ;
- Les matériaux de construction sont bien définis comme dans l'état réel.

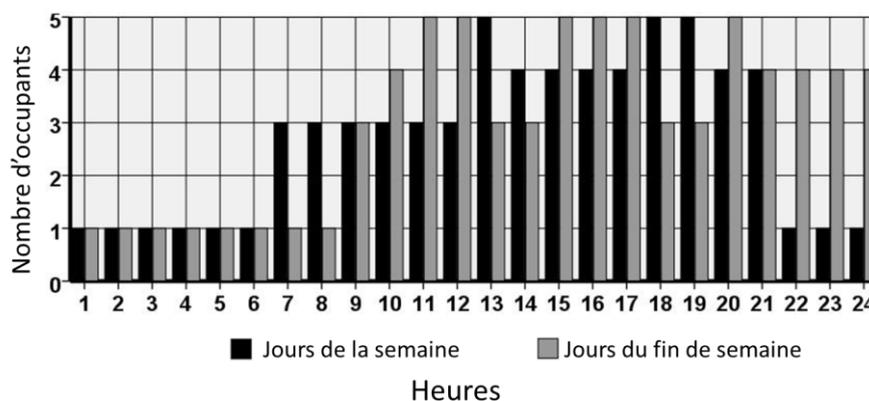


Figure 3–27: Scénario d'occupation (Source : Auteur)

L'intégration des données climatiques de la ville de Biskra a été faite à l'aide du logiciel TRNSYS© de type 109. Sachant que les données climatiques ont été exportées du logiciel Meteororm 7 sous format TMY2 qui est considéré comme le format le plus performant (Gugliermetti Passerini et Bisegna 2004). Les autres espaces (chambres, couloirs... etc.) ont été modélisés ainsi comme zones thermiques.

La quatrième étape consiste à transférer les graphiques présentés au niveau du logiciel TRNSYS© au logiciel Excel sous format de tableaux. Sachant que le logiciel Excel joue le rôle d'intermédiaire entre le logiciel TRNSYS© et le logiciel SPSS « Statistical Package for the Social Sciences ».

Dans la cinquième et dernière étape, l'étude statistique a été réalisée au niveau du logiciel SPSS. D'où l'exportation des résultats du logiciel SPSS a été faite sous format d'histogrammes, de graphes et de tableaux.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité les caractéristiques climatiques de la ville de Biskra qui est le contexte de notre étude et les caractéristiques corporelles des habitants de cette ville. Cette partie de la recherche fait ressortir que par l'utilisation des équations élaborées, nous pouvons arriver à faire une estimation sur la température moyenne de la peau des habitants de la ville de Biskra (Eq 3\_5 et Eq 3\_9), la température de leur noyau (Eq 3\_6 et Eq 3\_10), la température de leur corps (Eq 3\_7 et Eq 3\_11) et même sur leurs niveaux de sensation (Eq 3\_8, Eq 3\_9, Eq 3\_10 et Eq 3\_11) par rapport à une température ambiante de l'air située dans la zone ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ).

D'autre part, nous avons présenté des définitions opérationnelles des logements collectifs sociaux et promotionnels (cas d'étude). Nous avons défini le cadre de la recherche, d'où nous avons choisi la salle de séjour comme l'espace principal de notre étude empirique.

Notre choix s'est effectué sur les logements typiques de trois cités collectives promotionnelles et de trois cités collectives sociales situées dans la ville de Biskra. De ce fait, nous allons présenter dans le prochain chapitre et dernier les résultats obtenus à partir d'une investigation subjective sur le confort thermique et lumineux des habitants des logements étudiés.

**Chapitre 4 :**  
**Évaluation subjective du confort thermique et  
lumineux des logements collectifs**

## **Chapitre 4: Évaluation subjective du confort thermique et lumineux des logements collectifs**

### **Introduction**

Le choix du cas d'étude de cette thèse s'est effectué sur les logements typiques de trois cités collectives promotionnelles et de trois cités collectives sociales situées dans la ville de Biskra. Ainsi nous avons fixé l'approche méthodologique de la recherche dont une partie de ce travail qui est basée sur l'utilisation de l'enquête par questionnaire. À ce niveau, nous avons discuté le déroulement de l'enquête, nous avons également présenté le rôle de chaque item présenté dans le questionnaire.

De ce fait, nous allons présenter dans ce chapitre les résultats obtenus à partir d'une investigation subjective sur le confort thermique et lumineux des habitants des logements. À ce sujet, il est à noter que les tests des statistiques de fiabilité du questionnaire sont présentés dans l'annexe B.

Dans cette perspective, nous allons présenter les caractéristiques personnelles des habitants, puis vérifier le nombre des habitants par logement, ensuite faire une synthèse sur les avis des occupants et sur leurs environnements physiques ; sur leurs satisfactions envers la surface et la taille des fenêtres des salles de séjour ; sur l'effet du soleil au niveau de la lumière naturelle et les rayonnements solaires ; et sur les comportements des habitants (Human behaviors). À la fin de ce chapitre, et par l'utilisation de la méthode comparative, nous allons évaluer subjectivement le niveau du confort thermique et lumineux des habitants des deux types de logements.

### **4.1. Caractéristiques personnelles des habitants**

La figure 4\_1 illustre les catégories d'âge de l'échantillon. D'après cette figure nous constatons que les catégories prédominantes sont la ( $\leq 25$ ) ans, et la (26-35) ans avec un pourcentage qui touche respectivement les 38.63 % le 24.61 %.

En outre, la figure 4\_2 présente le pourcentage des catégories d'âge des habitants participants au questionnaire en fonction de chaque cité. À ce niveau, la catégorie d'âge de ( $\leq 25$ ) ans est la catégorie prédominante dans toutes les cités, où 37.84 % a été enregistré pour les 110P, 36.59 % pour les 50P, 43.9 % pour les 220 S, 31.82 % pour les 901S et 43.86 % concerne les 80S, à l'exception des 40P qui se caractérise par une catégorie d'âge d'habitants qui varie entre (26\_35) ans avec un pourcentage de 26.09%.

D'autre part, les habitants âgés de (26\_35) ans sont nombreux pour tout l'échantillon à l'exception des 40P qui se caractérise par un pourcentage maximal qui touche seulement le 34.78 %, concernant cette catégorie d'âge.

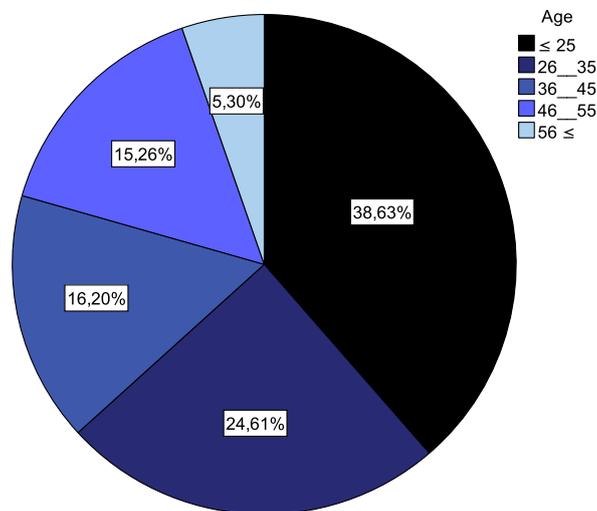


Figure 4–1: Catégorie d'âges de l'échantillon (Source : Auteur)

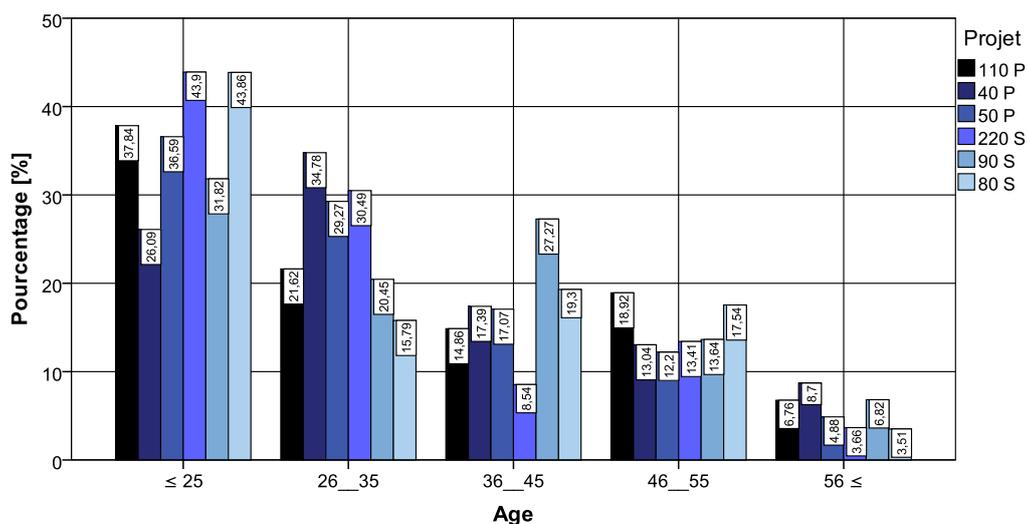


Figure 4–2: Catégorie d'âge des habitants participants au questionnaire en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

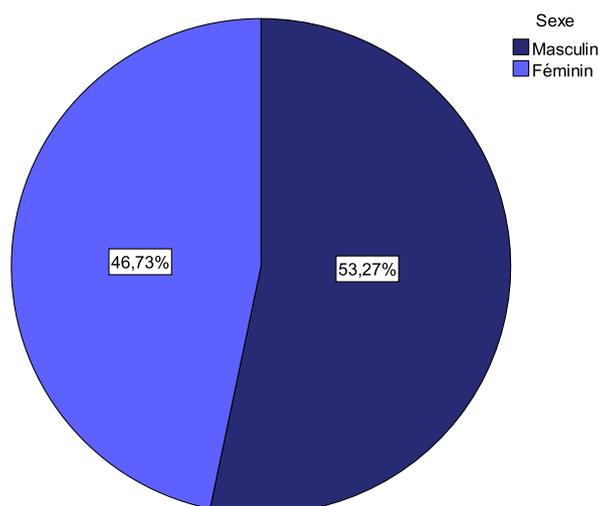


Figure 4–3: Le genre de l'échantillon (Source : Auteur)

Par ailleurs, la figure 4\_3 illustre les pourcentages de genre (sexe) de notre échantillon. D'après la lecture de cette figure nous constatons que l'échantillon se compose de 53.27 % de sexe masculin et 46.73 % de sexe féminin. De plus, la figure 4\_4 présente les pourcentages de sexe de notre échantillon en fonction de chaque projet, où, les cités 110P, 50P et 220S se caractérisent par les pourcentages les plus élevés du sexe masculin à 55.41%, 60,87 %, 53,66 et 56,10 % respectivement. Tandis que la cité 80S se caractérise par un pourcentage de genre féminin qui atteint le 54.39 %.

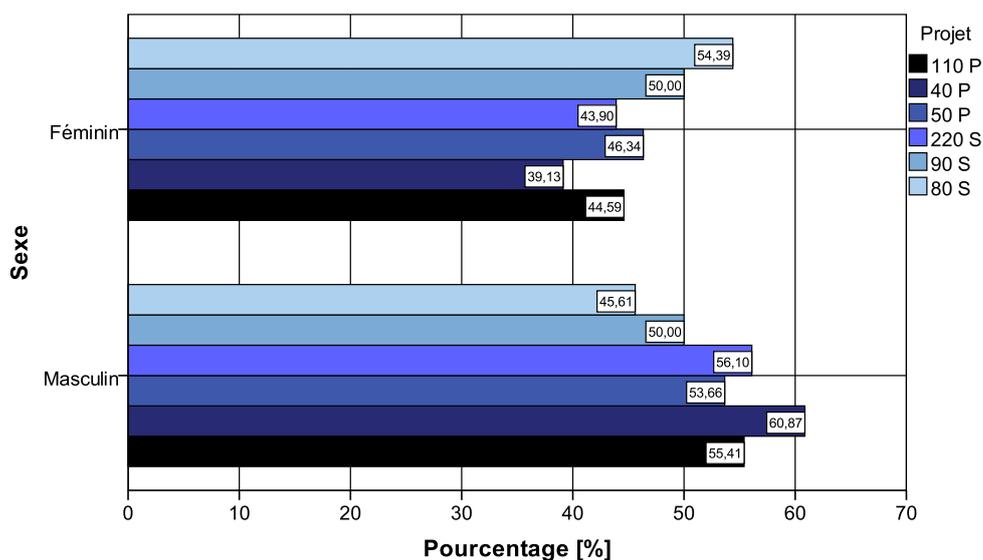


Figure 4–4: Le genre de l'échantillon en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

D'autre part, dans les figures 4\_5 et 4\_6 nous constatons que les catégories d'âge qui prennent des valeurs maximales dans l'échantillon dans les deux types de logements (sociaux

et promotionnels) sont 18.84 % sexe masculin et 16.67 % de sexe féminin, concernant la catégorie d'âge de (26\_35) ans. À ce niveau, on observe également que les résultats enregistrés par les participants des logements collectifs sociaux sont toutefois semblables à ceux des logements promotionnels.

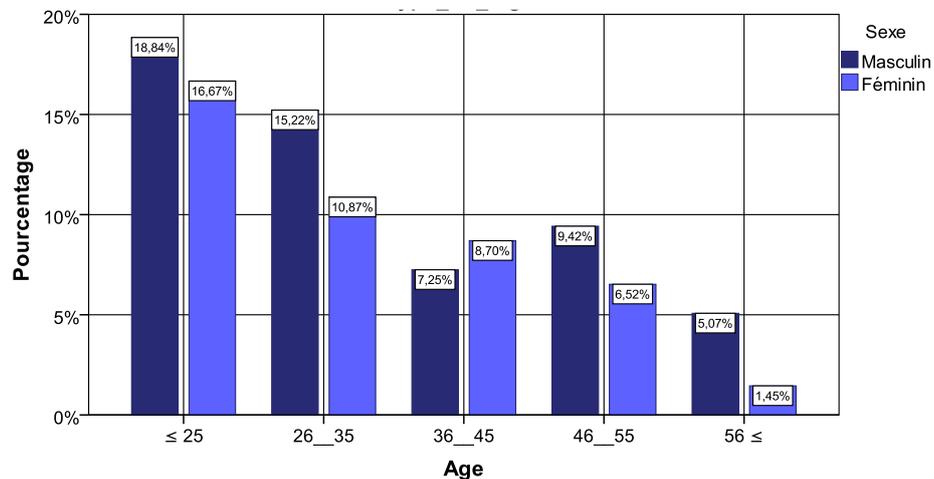


Figure 4–5: Catégorie d'âge des habitants participants des logements promotionnels en fonction du sexe (Source : Auteur)

De ce qui précède, on peut déduire que la catégorie d'âge des jeunes ( $\leq 25$ ) ans représente la majorité de la population des logements collectifs sociaux et promotionnels. Cela, affirme notre hypothèse illustrée dans le chapitre 3, section « caractéristique corporelle des habitants de la ville de Biskra », où, nous avons pris en considération cette catégorie d'âge parce qu'elle est représentative dans le cas d'étude.

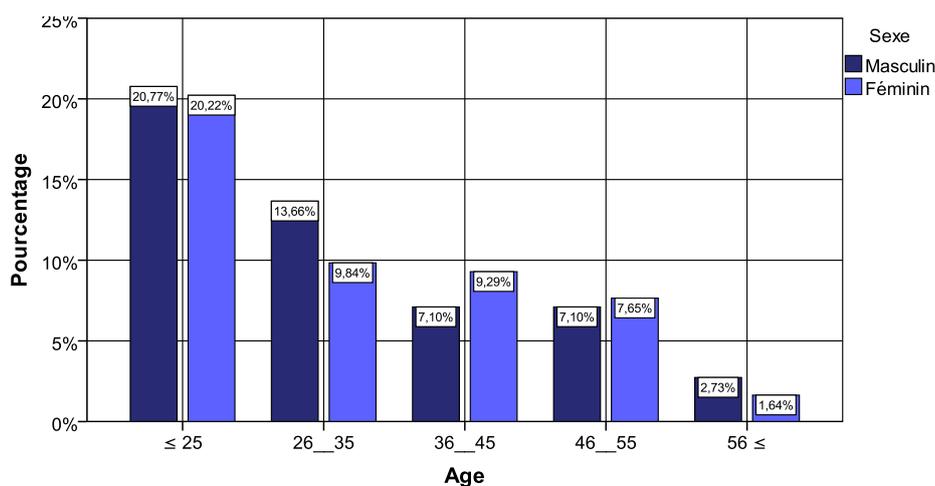


Figure 4–6: Catégorie d'âge des habitants participants des logements sociaux en fonction du sexe (Source : Auteur)

#### 4.1.1. Nombre de personnes par logement

Le nombre des occupants par logements est considéré comme une information très importante dans le but de réaliser des simulations thermiques et lumineuses. À ce sujet, la figure 4\_7 montre que 36.07 % et 29.71 % des réponses des participants des logements collectifs sociaux et promotionnels soulignent respectivement que le nombre moyen de personnes par logement est plus que cinq (5). Ce résultat est proche à celui de (5<), où, les participants au questionnaire affirment que 33.33 % de familles des logements collectifs sociaux sont composés de cinq (5) personnes, et 29.71 % pour les logements collectifs promotionnels.

De même, la figure 4\_8 illustre les pourcentages du nombre des habitants par logement en fonction de chaque projet, où, les valeurs minimales sont enregistrées pour le nombre ( $\geq 2$ ), trois (3) et quatre (4) personnes par logement, tandis que les valeurs maximales sont enregistrés pour cinq (5) personnes et plus (5<) par logement, où les 110P présentent 29.73 % et 36.49 % pour ce nombre d'occupants, respectivement. Les participants de 40P ont affirmé que 39.13 % et 17.39 % représentent le (5) et le (5<), respectivement. Le 24.398 % et le 24,39% sont enregistrés pour les 50P, le 28.05 % et le 36.59 % pour les 220S, le 29.55 % et le 36.67 % ont enregistré pour les 90S, tandis que la valeur maximale de cinq (5) personnes a été enregistrée dans les 80S qui atteignent le 43.86 et le 33.33 % pour plus de cinq personnes par logement.

De ce qui précède, on peut choisir le nombre d'occupants le plus « étendu qui est de cinq (5) personnes par logement, afin d'achevé les simulations de nos modèles dans le prochain chapitre.

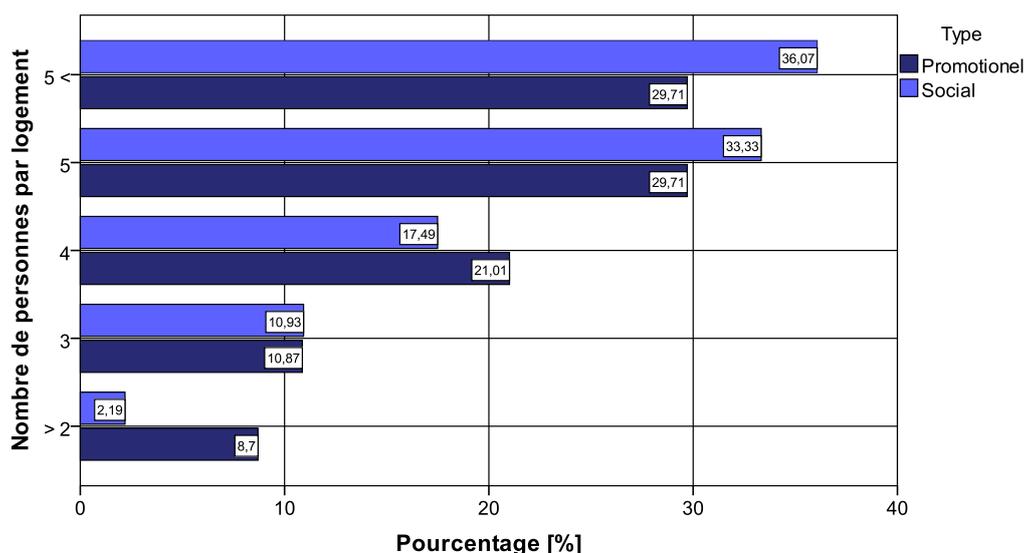


Figure 4–7: Nombre de personnes par logement en fonction de chaque type d’habitation (Source : Auteur)

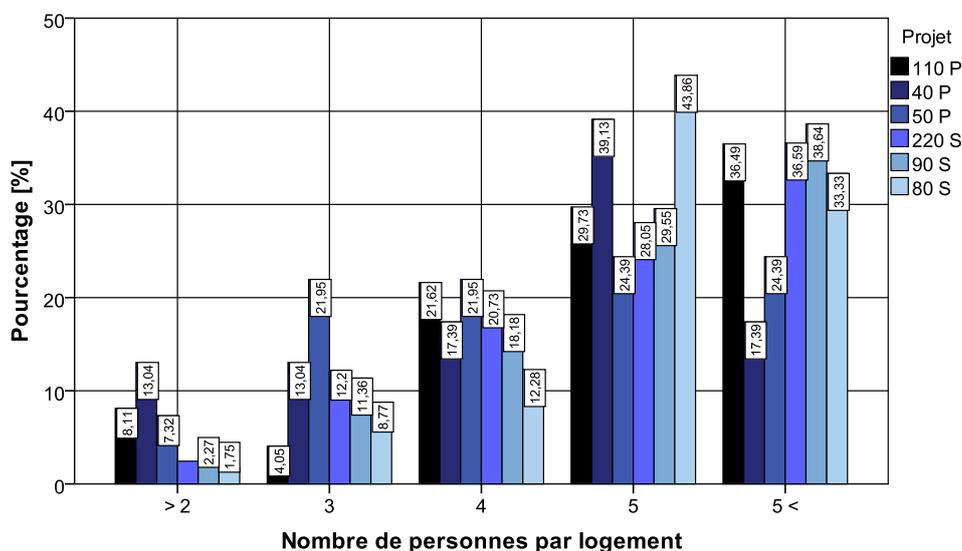


Figure 4–8: Nombre de personnes par logement en fonction de chaque type cité (Source : Auteur)

## 4.2. Avis de l’occupant sur son environnement physique

### 4.2.1. La satisfaction envers la surface de la salle de séjours

La réponse à la question sur l’avis des habitants sur leurs environnements physiques montre que 57.97 % des participants des logements promotionnels sont satisfaits par rapport à la surface de la salle de séjour de leurs logements. De même, 58.47 % des habitants participants des logements sociaux étaient satisfaits par la surface de leurs salles de séjour, figure 4\_9. En outre, la figure 4\_10 présente également le pourcentage des habitants satisfaits

envers les surfaces de leurs salles de séjour, mais cette fois en fonction de chaque projet. D'après cette figure nous constatons que les habitants des 40P sont les plus satisfaits envers à la surface de leurs salles de séjour avec un pourcentage qui touche le 78.26 %. Dans la même perspective, on observe dans la cité 90S que 68.18 % des habitants sont satisfaits. Tandis que les pourcentages les moins élevés ont été enregistrés dans les 80S, les 110P, les 50P et les 90S, avec des pourcentages qui varient entre 43.86 % et 63.41 % pour les personnes satisfaites par la surface de leurs salles de séjour.

Par ailleurs, il est à noter que les résultats obtenus pour la surface préférée pour chaque type de logement et pour chaque projet sont présentés dans l'annexe B.

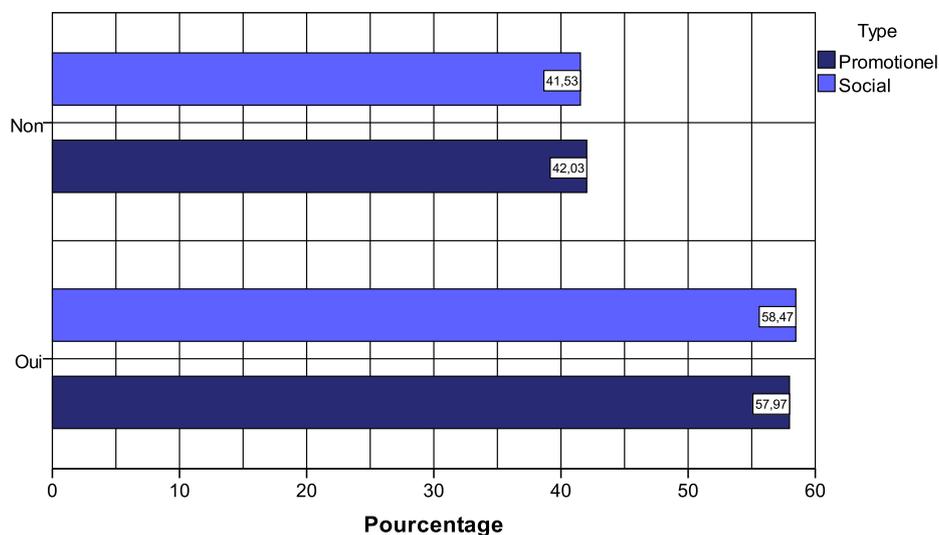


Figure 4–9: Satisfaction des participants envers les surfaces des salles de séjour en fonction de type de logement (Source : Auteur)

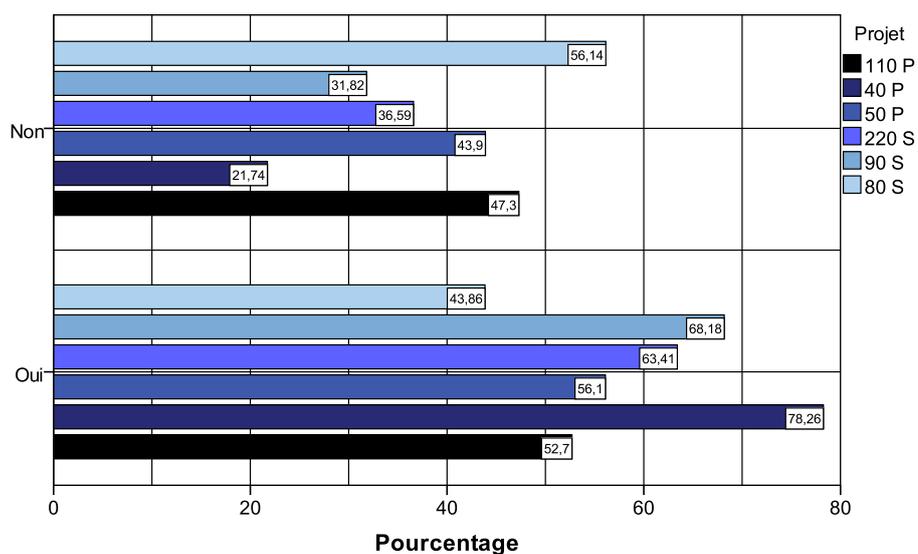


Figure 4–10: Satisfaction des participants envers les surfaces des salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

#### 4.2.2. La satisfaction envers la taille des fenêtres

La fenêtre est un élément très important dans les environnements bâtis, notamment dans les logements collectifs. Elle permet à la lumière naturelle et aux rayonnements solaires de pénétrer de l'extérieur vers l'intérieur, elle possède également plusieurs fonctions conflictuelles que nous pouvons utiliser afin de rendre un environnement confortable aux occupants.

À ce titre, la figure 4\_11 présente les pourcentages de satisfaction des occupants envers les dimensions des fenêtres de leurs logements. D'après la lecture de cette figure, on peut déduire que la plupart des occupants sont satisfaits par rapport à la dimension de leurs fenêtres, car les pourcentages maximaux obtenus dans cette figure représentent la réponse « oui, je suis satisfait », où elle varie entre 56.52% et 81.71 % dans les différents logements étudiés. De même, dans la figure 4\_12 une comparaison entre le social et le promotionnel au niveau des pourcentages de satisfaction des occupants envers les dimensions de leur fenêtre. Cette figure nous illustre que la valeur la plus élevée a été obtenue pour les participants satisfaits dans les logements sociaux avec un pourcentage qui atteint le 75.96%. En outre, les valeurs obtenues pour les participants satisfaits dans le promotionnel sont toutefois semblables à celle des logements sociaux, avec une valeur qui touche le 68.12 %.

D'après les résultats des données exposées dans les figures 4\_11 et 4\_12, on peut poser la question suivante :

- Les fenêtres de ces logements collectifs sociaux et promotionnels sont-elles conçues pour rendre l'environnement thermique et lumineux optimal aux occupants, ou bien la satisfaction des participants envers les diminutions des surfaces de leurs fenêtres a été seulement au niveau architectural et esthétique ?

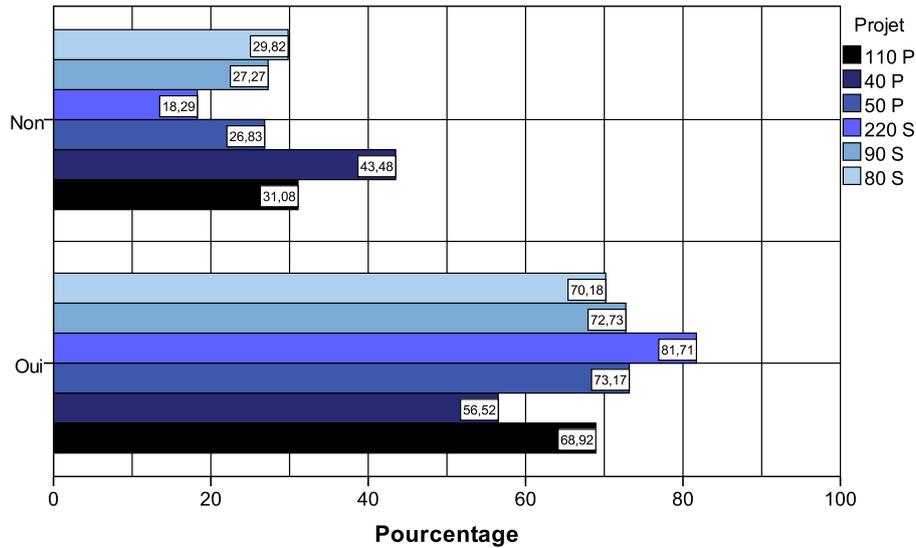


Figure 4–11: Satisfaction des participants envers les dimensions des fenêtres des salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

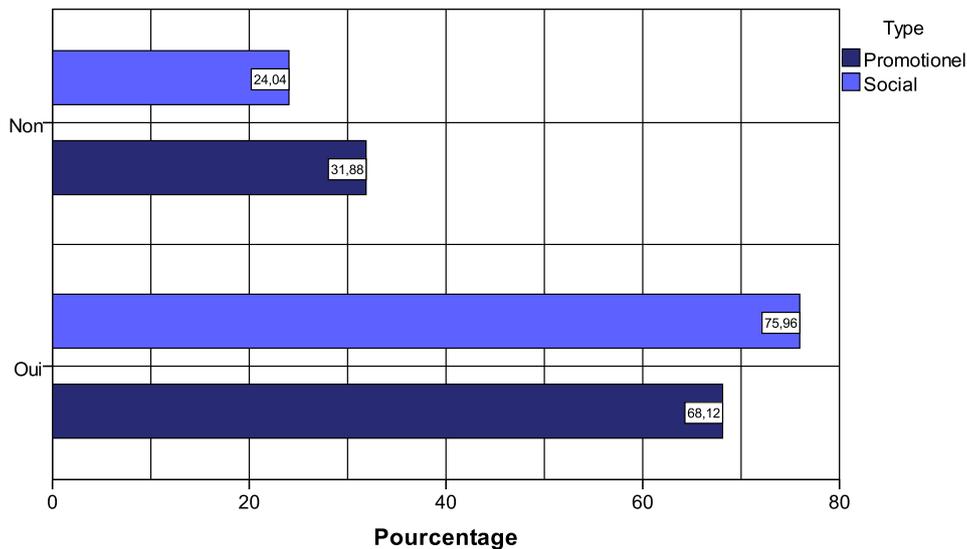


Figure 4–12: Satisfaction des participants envers les dimensions des fenêtres des salles de séjour en fonction de chaque type d'habitation (Source : Auteur)

### 4.3. L'effet du soleil (au niveau de la lumière naturelle et les rayonnements solaires)

La figure 4\_13 illustre les pourcentages représentatifs de la durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la journée dans chaque type de logement. D'après la lecture de cette figure, nous constatons que la durée de l'utilisation de la lumière du jour le plus élevé est de 2h à 4h pour les logements collectifs sociaux. Tandis que la durée de cette source lumineuse est plus élevée dans les logements promotionnels, puisque le 39.89 % des

participants ont répondu que cette durée varie entre (4h et 6h). Toujours dans la même perspective, la figure 4\_14 fait ressortir que 37.84 % des participants de 110P ont votés sur la durée de 2h à 4h, 26.83 % dans les 40P et 34.78 % dans les 50P mes participants ont indiqués qu'ils utilisent la lumière du jour dans une période comprise entre (2h et 4h). Par ailleurs, le 37.8 %, le 43.18 % et le 40.35 % sont les pourcentages qui indiquent que les participants des 220S, 90S et 80S utilisent respectivement la lumière naturelle au niveau de leurs salles de séjour pour une durée comprise (4h et 6h). De cela, on peut déduire que les habitants des logements collectifs promotionnels consomment plus d'énergie électrique pour l'utilisation de l'éclairage artificiel que les habitants des logements sociaux.

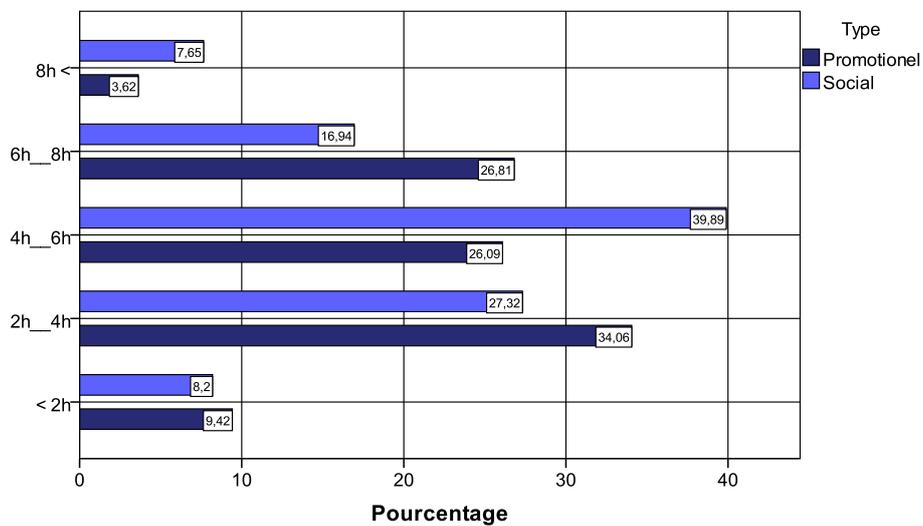


Figure 4–13: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle en fonction de type de logement (Source : Auteur)

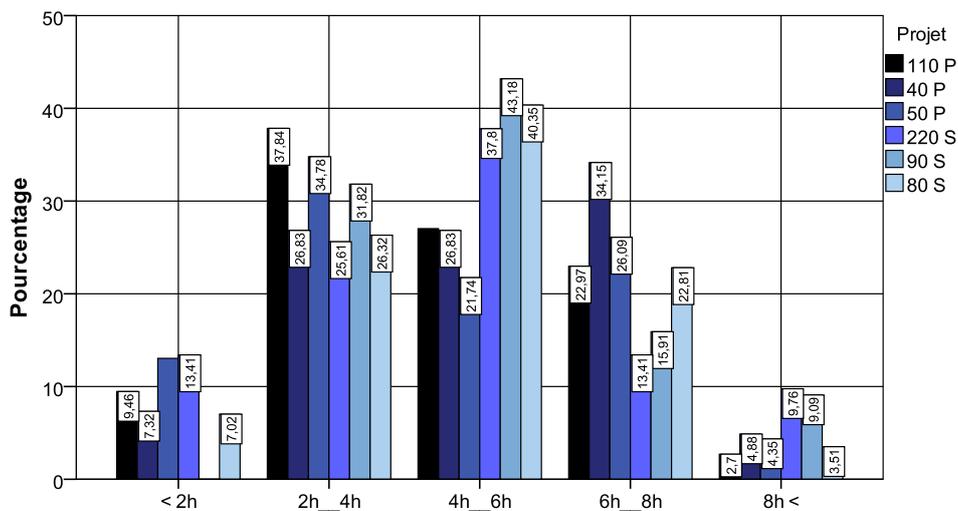


Figure 4–14: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

La figure 4\_15 relève les pourcentages de la durée de l'utilisation des rayonnements solaires pendant une journée hivernale typique. D'après cette figure nous constatons que les occupants des logements collectifs sociaux et promotionnels utilisent les rayonnements solaires pour chauffer leurs salles de séjour d'une manière passive pendant la période hivernale durant une durée qui varie seulement entre (2h et 4h) pour chaque journée, où 31,88 % des participants de logement promotionnel et 33,88% des participants de logements sociaux ont voté sur cette durée. À ce niveau, 25,68 %, 39,13 % et 39,02 % des habitants participants dans les logements des 110P, 40P, et des 90P ont voté respectivement sur cette durée, comme illustre la figure 4\_16. Tandis que le 35,37 %, le 34,09 % et le 31,58 % représentent respectivement, le pourcentage des habitants de 220S, 90S et 80S qui ont affirmé qu'ils sont utilisent principalement les rayonnements solaires pendant une durée de 2h à 4h afin de chauffer leur logements. À ce titre, une exception a été remarquée pour les réponses des participants des 90S, où 43,18 % entre eux ont voté sur la durée comprise entre (4h et 6h), voir la figure 4\_16.

Ces résultats démontrent que les logements collectifs sociaux et promotionnels ne sont pas bien isolés, et par conséquent les participants négligent le rôle des rayonnements solaires pour chauffer leurs logements durant la période hivernale.

D'autre part, il est à noter que les figures qui représentent l'avis des occupants envers la meilleure durée de l'utilisation des rayonnements solaires sont présentées dans l'annexe B.

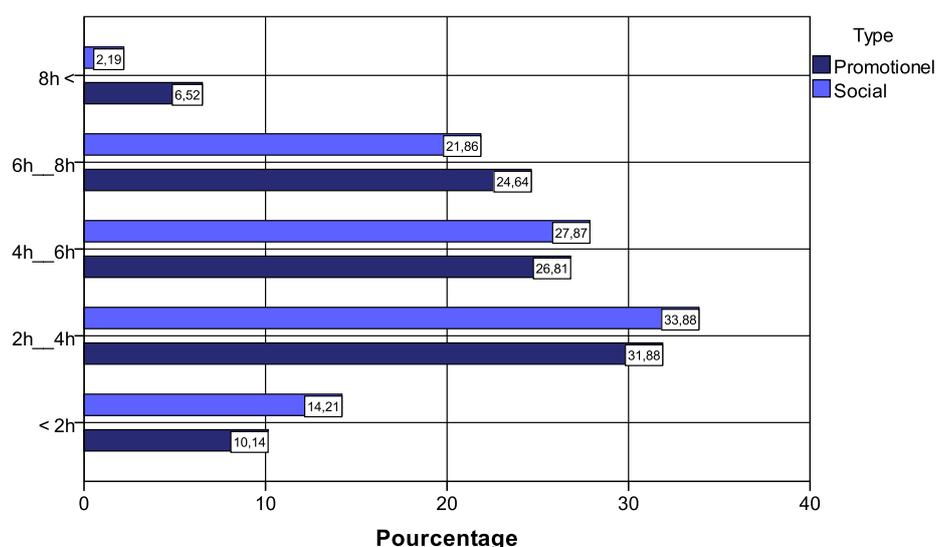


Figure 4–15: Durée de l'utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

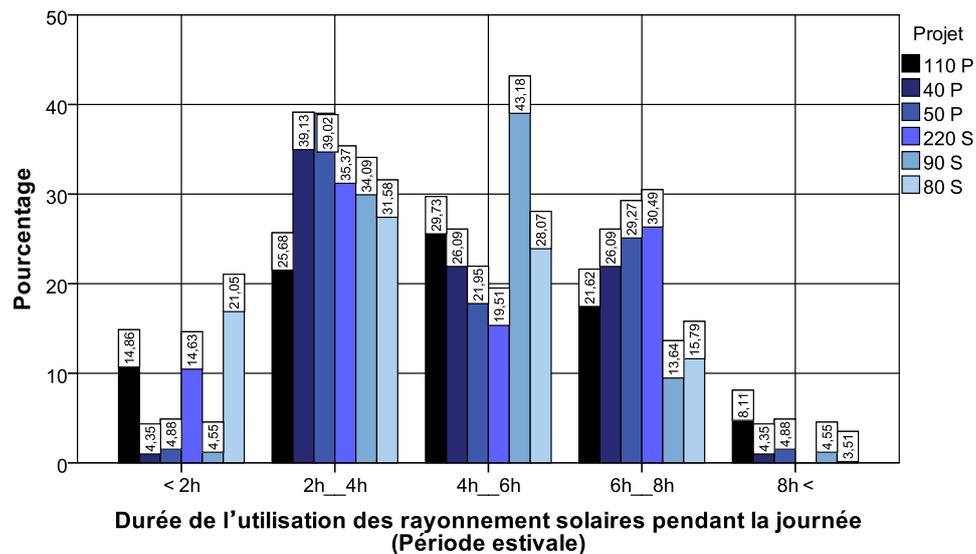


Figure 4–16: Durée de l'utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

### 4.3.1. Distribution de la lumière

Afin de vérifier la distribution de la lumière dans les deux types de logements du cas d'étude, les figures 4\_17 et 4\_18 représentent les réponses des habitants participants sur le niveau de la distribution uniforme des éclairages dans leurs logements. Les résultats sont présentés en fonction de chaque type d'habitation (sociale et promotionnelle) dans la figure 4\_17, tandis que la représentation selon chaque projet est indiquée dans la figure 4\_18.

À ce sujet, on observe que 53.62 % des participants dans les logements collectifs promotionnels sont en désaccord avec la distribution uniforme de la lumière naturelle dans leurs logements. Le même cas est constaté pour les habitants des logements collectifs sociaux, où 43.72 % des participants ont affirmé qu'ils ne sont pas d'accord avec l'uniformité de l'éclairage dans leurs salles de séjour, figure 4\_17.

La figure 4\_18 relève que 50 % des participants de 110P ont répondu négativement à la question de la distribution uniforme de la lumière du jour, la valeur maximale qui a été enregistrée à ce sujet pour les 40P atteint le 43.48 %, et le 65.85 % pour les 50P, 39.02% pour les 220S, 45.45 % pour les 90S et 49.12% pour les 80S.

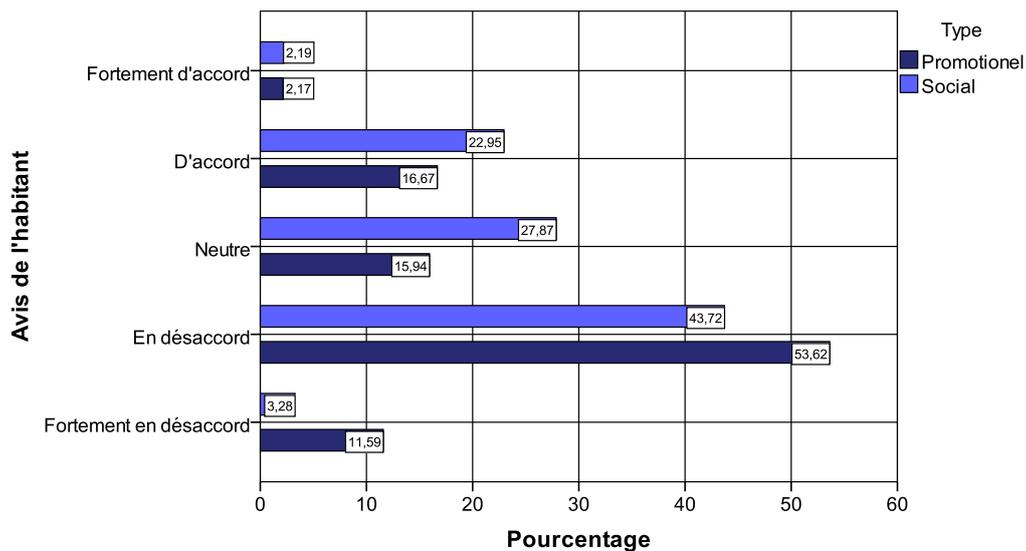


Figure 4–17: Avis des participants sur la distribution uniforme de la lumière naturelle en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

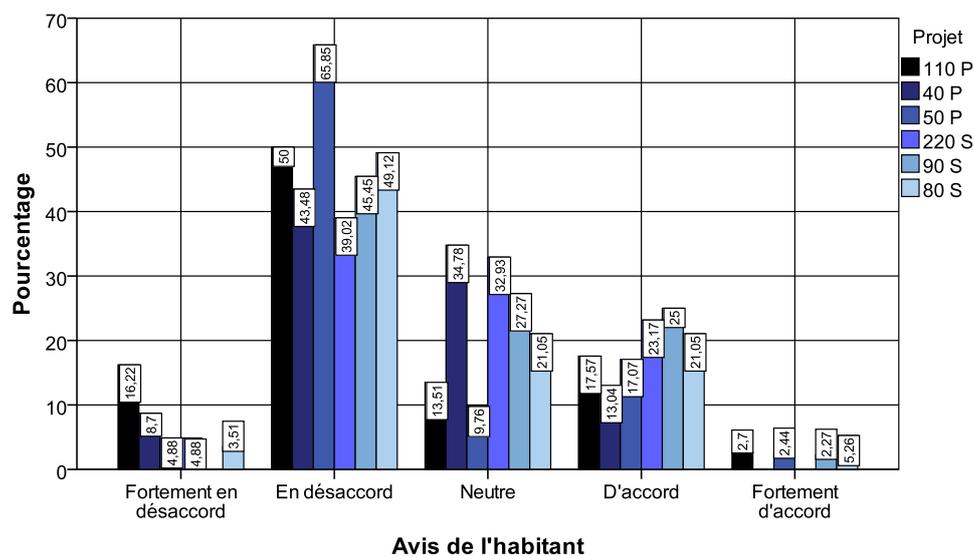


Figure 4–18: Avis des participants sur la distribution uniforme de la lumière naturelle en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

D'autre part, la figure 4\_19 illustre que la durée de l'utilisation de la lumière naturelle durant la période estivale dans les logements promotionnels est comprise entre 4h et 6h comme l'affirment 38.41 % des participants au questionnaire, tandis que la durée de l'utilisation de l'éclairage naturel dans les logements sociaux pendant l'été varié entre 2h et 4h, comme le témoignent 29.51 % des participants de ce type de logement.

En outre, la figure 4\_20 montre que la durée de l'utilisation de la lumière naturelle comme source principale d'éclairage dans les logements de 40P et de 50P est comprise entre 2h et 4h comme indiquent 43.48 % et 43.9 % des habitants participants respectivement dans ces cités. De même, 43.24 % des participants de 110P affirment que la durée d'éclairage naturel utilisé dans leurs logements se situe entre 4h et 6h et c'est le même cas pour les 220S et les 90S, comme affirment 31.71 %, et 29.55 % respectivement des habitants de ces cités. Enfin, on observe que cette durée varie entre 6h et 8h d'après 29.82 % des habitants participants des logements de 80S.

De ce qui précède, nous pouvons déduire que les logements collectifs sociaux consomment beaucoup plus d'énergie électrique par rapport à la consommation dans les logements promotionnels.

D'autre part, il est à noter que les résultats des avis des participants sur la durée préférée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période estivale sont présentés dans l'annexe B.

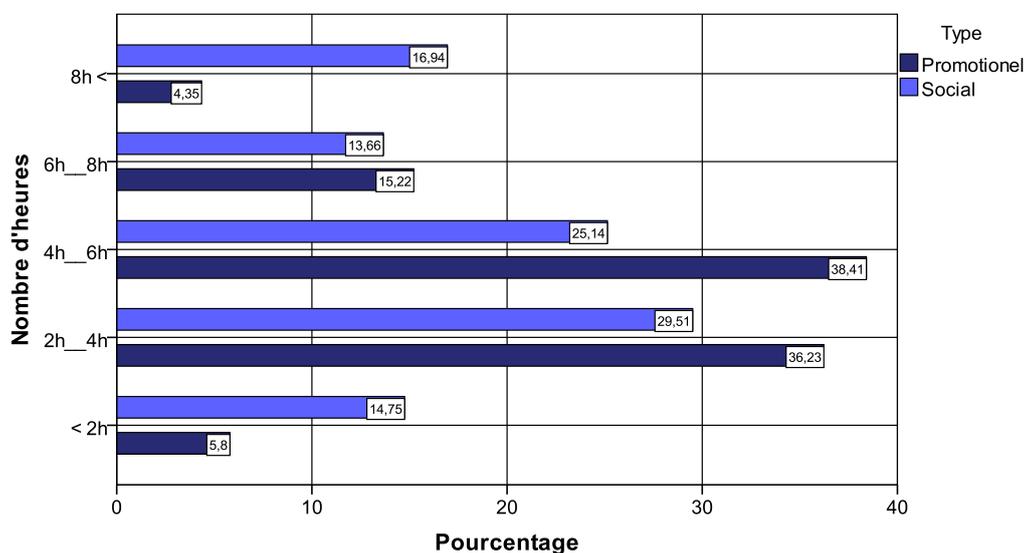


Figure 4–19: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période estivale en fonction de type de logement (Source : Auteur)

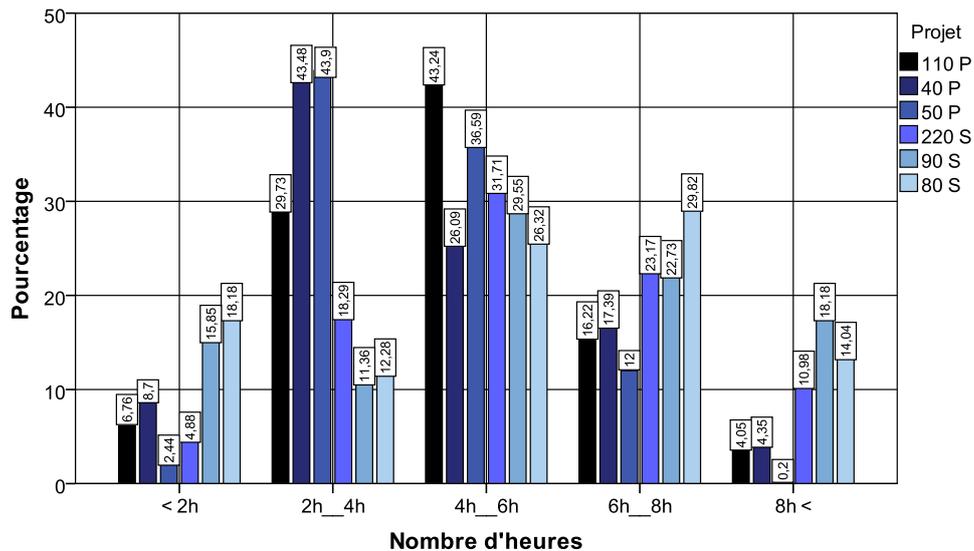


Figure 4–20: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

La figure 4\_21 montre que la durée d'utilisation de la lumière naturelle comme source principale de l'éclairage dans les logements collectifs sociaux et promotionnels varie entre 2h et 4h pendant la période hivernale, comme l'affirment 37.68 % des habitants des logements collectifs promotionnels et 36.61 % des habitants des logements collectifs sociaux. Sachant que les valeurs obtenues pour la période comprise entre 4h à 6h sont toutefois semblables à celles de 2h à 4h, où 36.69 % et 36.23 % des habitants des logements promotionnels et sociaux qui utilisent la lumière naturelle pendant la période hivernale pour une durée comprise entre 4h et 6h pour chaque journée, respectivement. De même, la figure 4\_22 illustre ces valeurs en fonction de chaque projet, où, on observe que les habitants des logements des 110P, 40P, et des 80S utilisent la lumière naturelle durant cette période dans une durée qui varie entre 2h et 4h comme affirment 35.14 %, 43.48 % et 42.11 % des participants des habitants de ces cités respectivement. D'autre part, nous observons que cette durée est élevée pour atteindre la durée qui varie entre 4h et 6h pour les 50P et les 90S comme l'affirment 49.34 % et 40.91 % des participants de ces cités, respectivement.

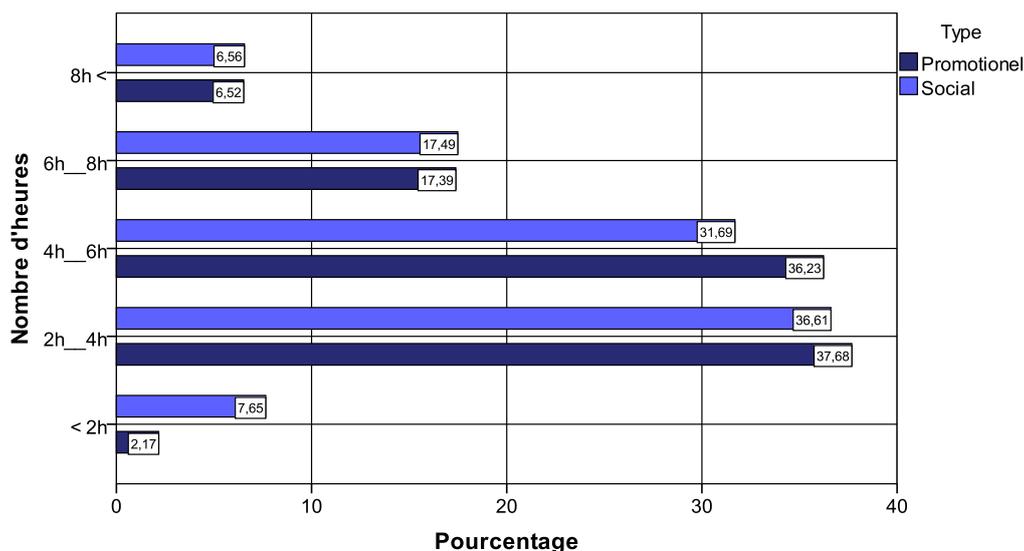


Figure 4–21: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période hivernale en fonction de type de logement (Source : Auteur)

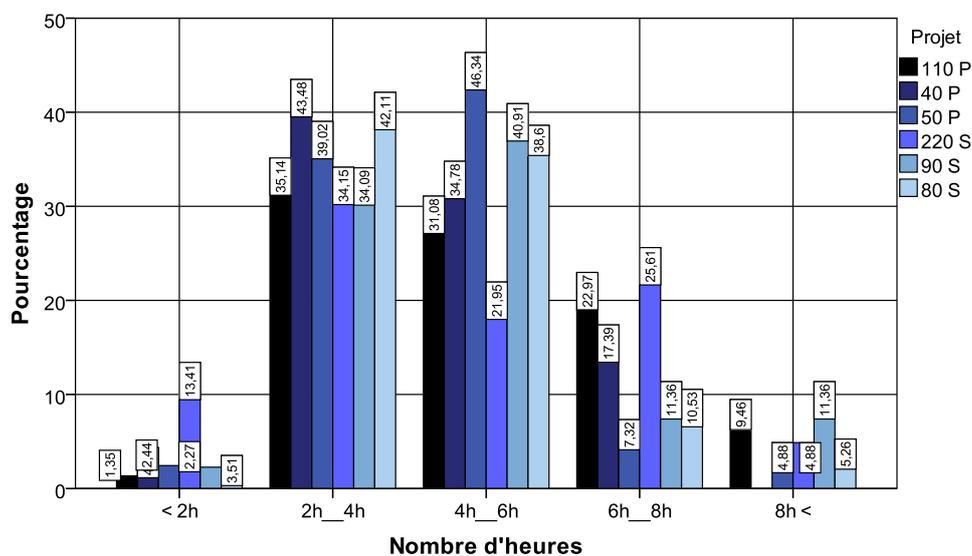


Figure 4–22: Durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

La figure 4\_23 illustre que les habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels ont répondu négativement à la question de la satisfaction envers l'effet global de la lumière naturelle sur leurs salles de séjour, où 52.17 % et 56.83 % des habitants des logements promotionnels et sociaux sont insatisfaits, respectivement.

La figure 4\_24 illustre à son tour que toutes les valeurs maximales des différents logements sont enregistrées pour la réponse « en désaccord », où les pourcentages qui

varient entre 44.59 % et 63.64 % représentent l'insatisfaction des habitants des différents logements étudiés envers l'effet global de la lumière du jour.

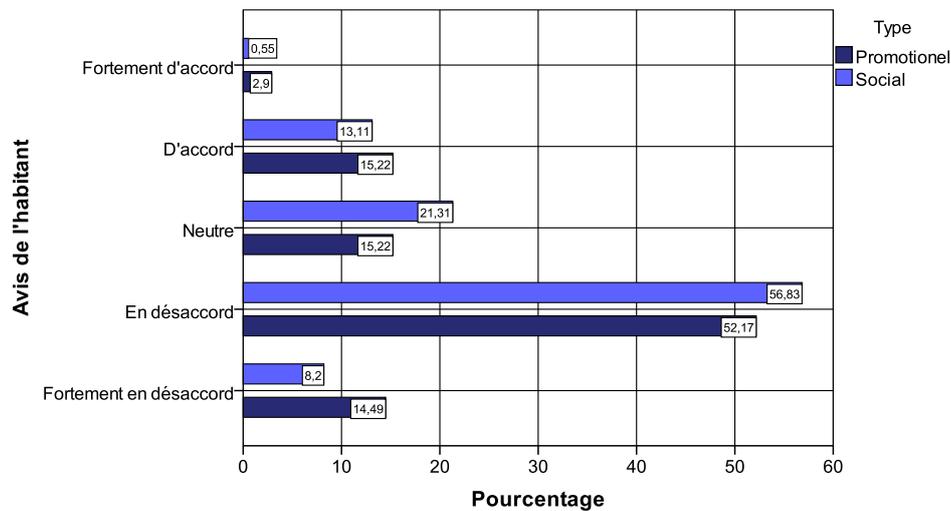


Figure 4–23: Satisfaction des participants envers l'effet global de la lumière naturelle dans les salles de séjour en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

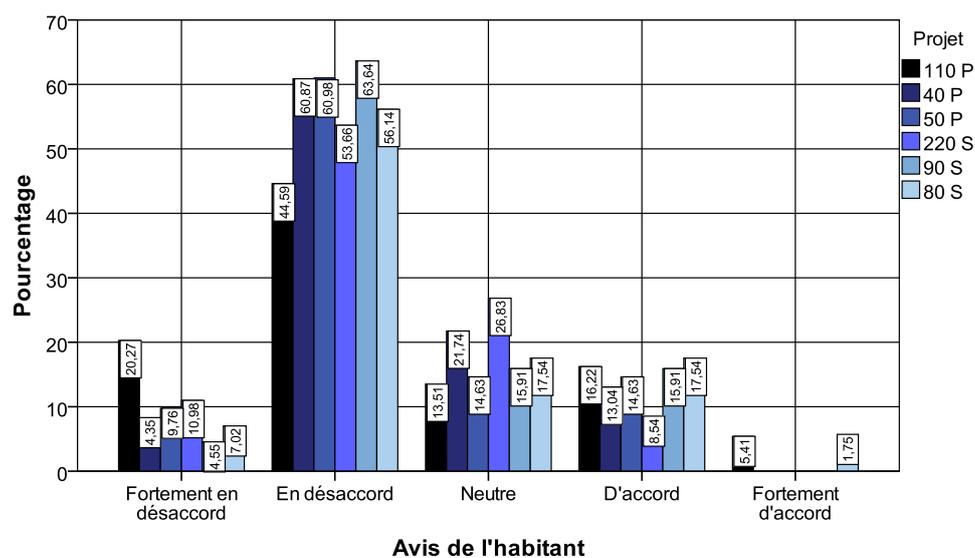


Figure 4–24: Satisfaction des participants envers l'effet global de la lumière naturelle dans les salles de séjour de chaque cité (Source : Auteur)

Par ailleurs, on observe de légères variations entre les valeurs obtenues pour les avis des habitants envers l'effet global du rayonnement solaire sur leurs salles de séjour dans les logements collectifs promotionnels et sociaux, où 49.28 % et 44.26 % des participants de ces deux types de logements sont respectivement insatisfaits de cet effet, figure 4\_25.

En outre la figure 4\_26 relève que les pourcentages des participants insatisfaits de l'effet thermique des rayonnements solaires représentent les valeurs comprises entre 40.91 % et 65.22 % du nombre total des participants de chaque cité.

De tous ce qui précède dans le traitement des résultats des effets thermiques et lumineux sur les salles de séjour des logements collectifs sociaux et promotionnel dans les différentes orientations, par analogie on peut déduire d'une part que les logements de ces deux types d'habitation n'assurent pas un environnement thermique et lumineux confortable à l'intérieur pour les habitants, et que la satisfaction des occupants envers les dimensions des fenêtres est seulement due à des raisons esthétiques et architecturales.

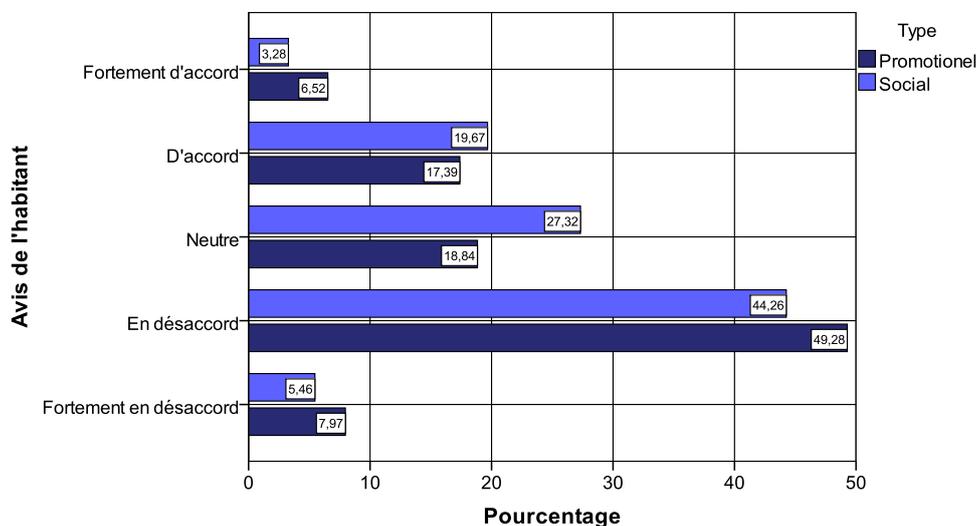


Figure 4–25: Satisfaction des participants envers l'effet global des rayonnements solaires dans les salles de séjour de chaque type d'habitation (Source : Auteur)

La figure 4\_27 présente l'effet du rayonnement solaire sur la durée d'inconfort thermique des salles de séjour de chaque logement. D'après la lecture de cette figure, nous constatons que les réponses des participants varient entre la réponse « parfois » et la réponse « toujours », où 39.86 % des habitants participants des logements promotionnels affirment qu'ils sont toujours dans un état inconfortable, sachant que 28.99 % entre eux souffrent souvent d'un inconfort thermique, et 18.84 % d'entre eux ont déclaré qu'ils souffrent parfois par l'inconfort thermique de leurs logements. D'autre part, 32.24 % des habitants des logements sociaux sont toujours dans un état inconfortable dans leurs logements, tandis que 29.51 % entre eux souffrent souvent de l'état d'inconfort thermique et 33.33 % entre eux le sont parfois.

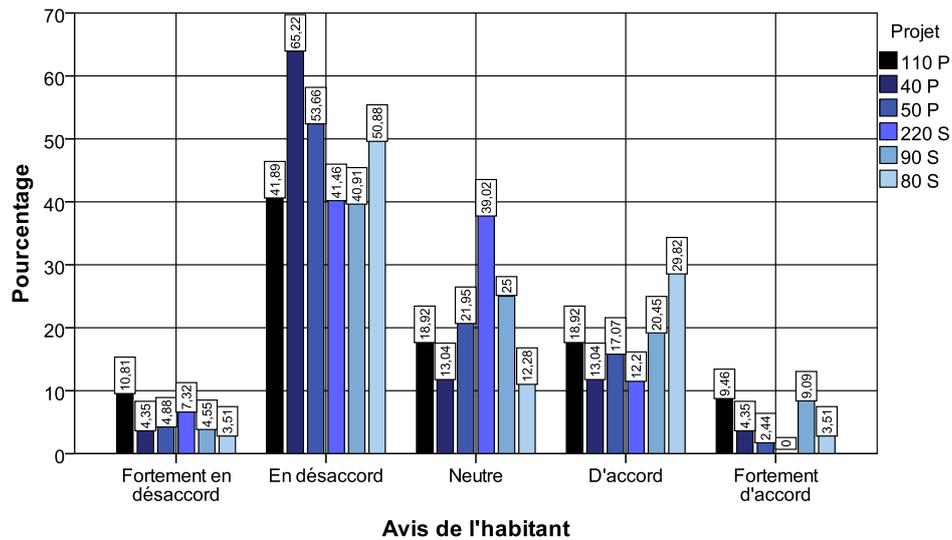


Figure 4–26: Satisfaction des participants envers l'effet global des rayonnements solaires dans les salles de séjour de chaque cité (Source : Auteur)

D'autre part, la figure 4\_28 fait ressortir que les valeurs maximales de l'effet du rayonnement solaire sur l'inconfort des habitants de tous les types de logements sont comprises entre les réponses « toujours » et « souvent ». Cela explique l'inefficacité thermique de ces deux types de logements.

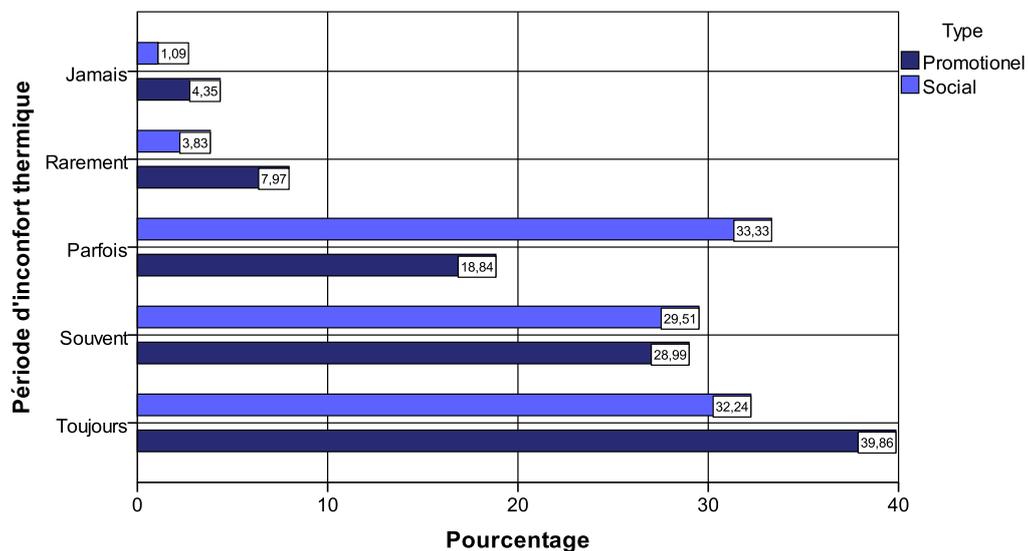


Figure 4–27: L'inconfort thermique et les rayonnements solaires en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

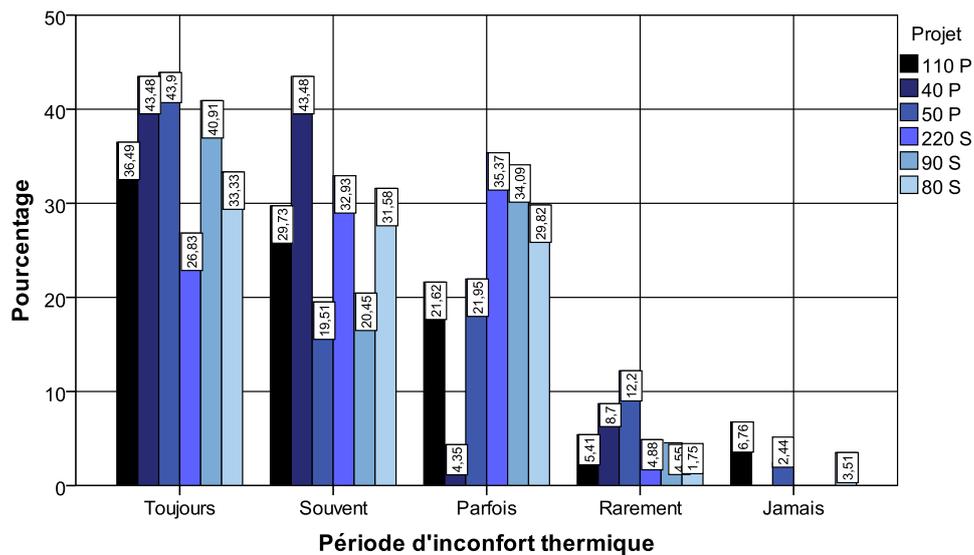


Figure 4–28: L'inconfort thermique et les rayonnements solaires en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Dans le but de vérifier l'impact de la lumière naturelle très élevée sur le niveau du confort lumineux des habitants, les figures 4\_29 et 4\_30 présentent les résultats obtenus sur la durée d'inconfort lumineux dû au phénomène d'éblouissement au niveau de chaque type de logement pour chaque cité, respectivement. Tandis que les figures 4\_31 et 4\_32 illustrent les valeurs obtenues pour la durée d'inconfort lumineux des participants dus au contraste pour chaque type de logement et pour chaque projet, respectivement.

Par la lecture de la figure 4\_29, nous constatons que l'absence de l'effet négatif de l'éblouissement est fortement notable dans les logements collectifs sociaux et promotionnels, où nous trouvons seulement 36.96 % et 31.15 % des habitants des logements promotionnels et sociaux affirment respectivement qu'ils sont gênés par le phénomène de l'éblouissement. Dans la même perspective, la figure 4\_30 fait ressortir que 31.08 % des participants des logements de la cité 110P ont été parfois dans un état d'inconfort lumineux dû à ce phénomène, 60.87 % des habitants de 40P étaient également parfois gêné par le niveau trop élevé de la lumière naturelle, tandis que 34.15 %, 40.24 %, 29.55 % et 19.3 % représentent les résultats des logements des 50P, 220S, 90S et 80S, respectivement.

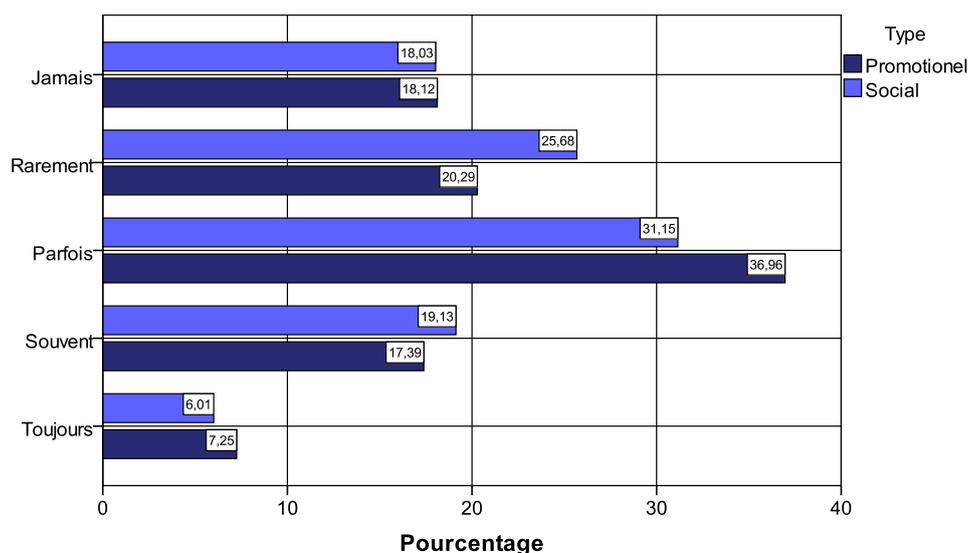


Figure 4–29: L'inconfort lumineux dû à l'éblouissement en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

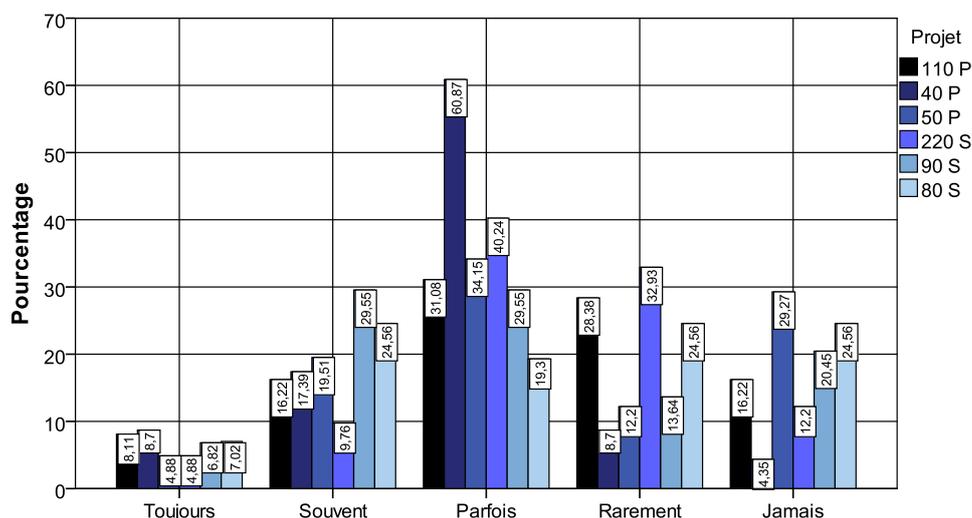


Figure 4–30: L'inconfort lumineux dû à l'éblouissement en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Les figures 4\_31 et 4\_32 illustrent l'absence d'inconfort lumineux dû au contraste dans la majorité de la période d'occupation dans les logements collectifs promotionnels et sociaux, où les valeurs varient entre « parfaits » et « jamais » concernant la plupart des réponses. À ce niveau, 32.61 % des participants des logements collectifs promotionnels souffrent parfois du phénomène de contraste, sachant que 29.73 % ont été enregistrés pour les 110P, 43.48 % pour les 40P, 31.71 % pour les 50P, 42.68 % pour les 220S, 45.45 % pour les 90S et 35.09 % pour les 80S. Tandis que 27.45 % d'entre eux n'ont été jamais influencés par ce phénomène.

Les résultats obtenus dans les logements collectifs sociaux sont toutefois semblables à ceux qu'on a vu précédemment.

Sur la base de toutes les données enregistrées dans cette partie, nous pouvons déduire que les habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels souffrent des problèmes d'inconfort thermique plus que dans le lumineux.

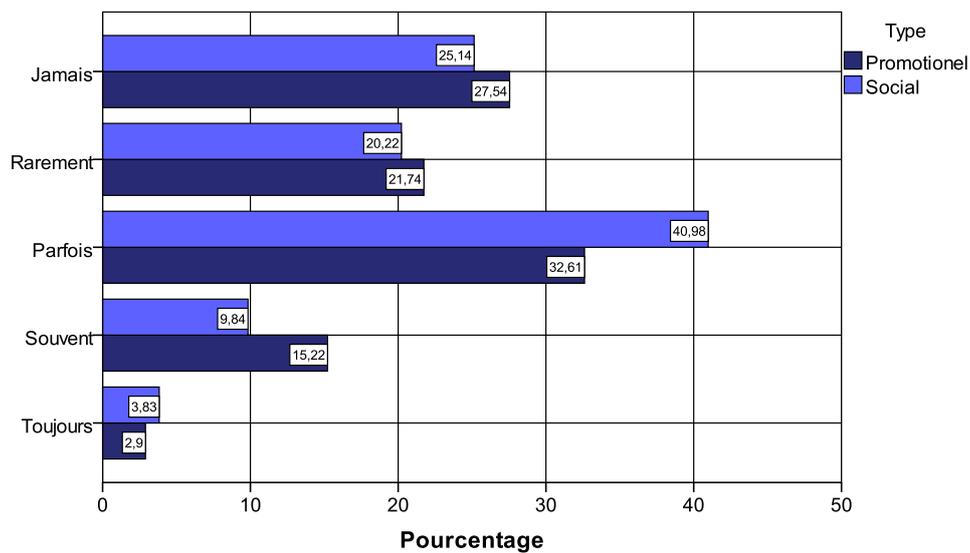


Figure 4–31: L'inconfort lumineux dû au contraste en fonction de chaque type d'habitation (Source : Auteur)

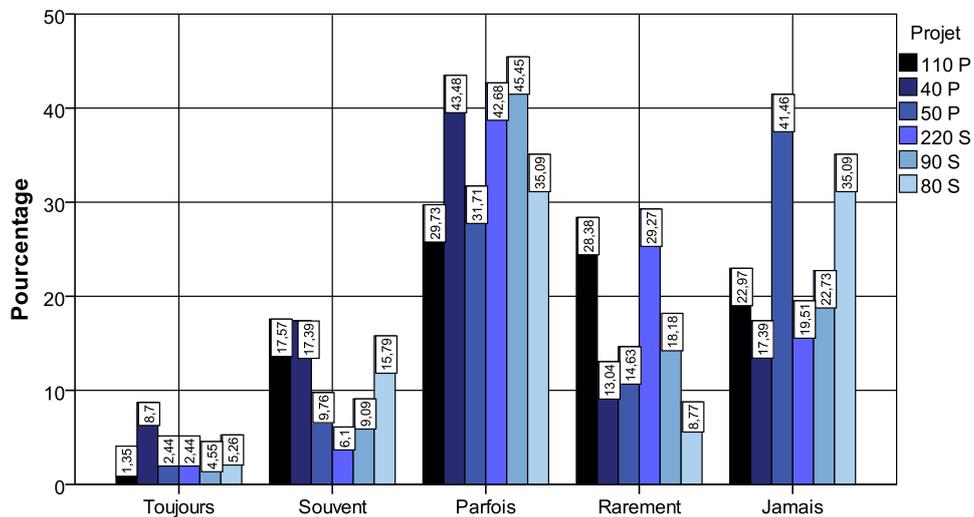


Figure 4–32: L'inconfort lumineux dû au contraste en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

## 4.4. Comportements des habitants (Human behaviors)

### 4.4.1. Activité principale

Afin de comprendre les comportements thermiques et lumineux des habitants des logements collectifs de sociaux et promotionnels, nous présentons dans les prochains paragraphes une étude détaillée sur cette perspective.

La figure 4\_33 présente les résultats obtenus sur l'activité principale des habitants des logements de l'habitat collectif et social. À la lecture de cette figure, nous constatons que les valeurs obtenues pour les deux types de logements sont très proches entre eux, sachant que les deux activités principales enregistrées sont « Regarder la TV » et « se relaxer ». Où 42.75 % et 39.89 % des habitants participants des logements promotionnels et sociaux affirment respectivement qu'ils regardent la TV dans la majorité de la durée d'occupation au niveau de leurs salles de séjour. Tandis que 28.99 % et 30.05 % affirment qu'ils utilisent cet espace pour se relaxer. La figure 4\_34 illustre les pourcentages obtenus pour les habitants de chaque type logements.

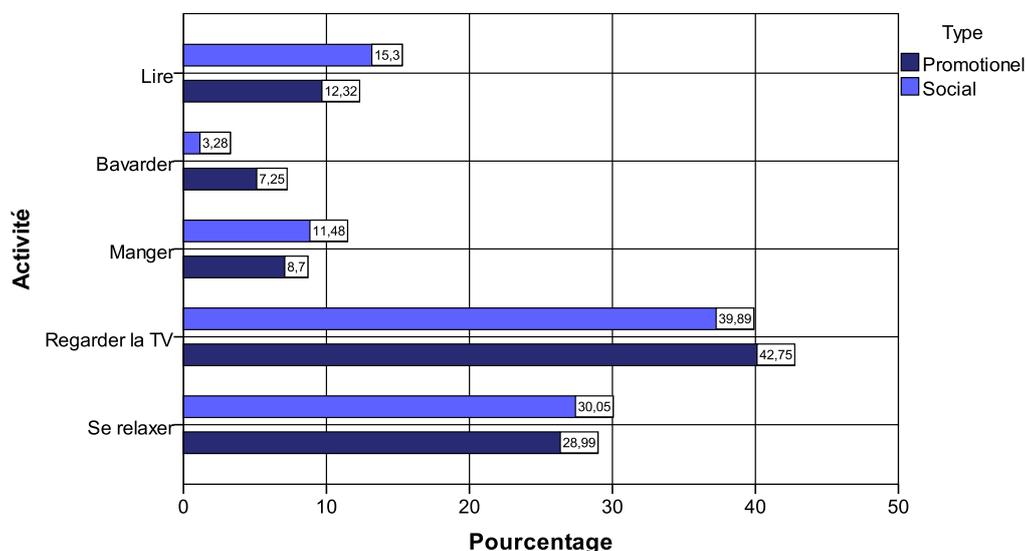


Figure 4–33: Activité principale dans les salles de séjour en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

D'après les résultats que nous avons vus précédemment, nous pouvons déduire que le scénario le plus réaliste de l'énergie métabolique des habitants qu'on peut prendre en considération pour les résultats de simulation thermique est de 1 met, où les participants étaient pris en position assise et en état de repos (ISO9920, 1995), sachant que 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> (Olesen, 1982), voir le chapitre 1. À ce fait, l'évaluation lumineuse s'est réalisée sur

l'environnement lumineux dans l'ensemble des espaces étudié. De cela, nous n'allons pas fixer les champs de vision des habitants sur des plans de travail bien précis.

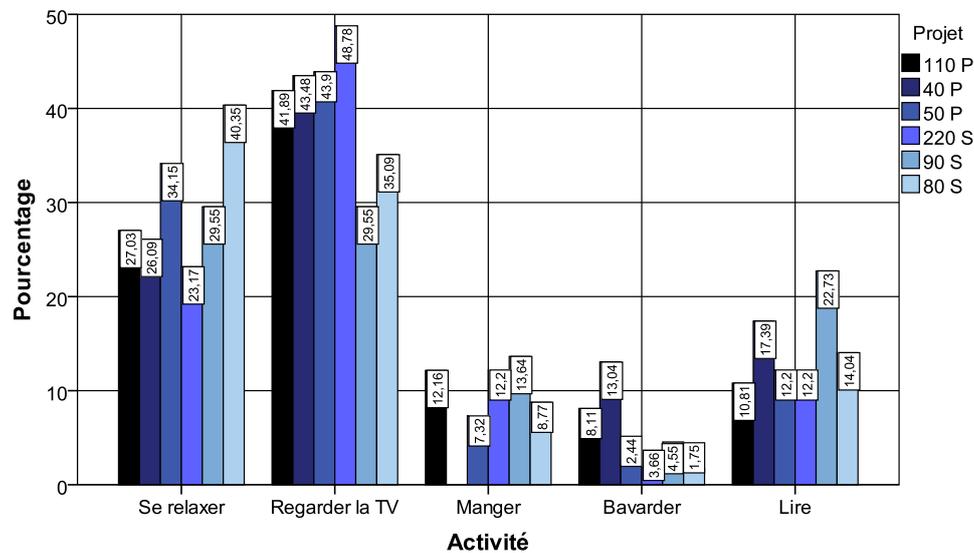


Figure 4–34: Activité principale dans les salles de séjour en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

#### 4.4.2. Type d'occultation

Dans le but comprendre qu'elle est le type d'occultation le plus utilisé dans les logements étudiés. Les figures 4\_35 et 4\_36 relèvent que 49.28 % et 58.47 % des habitants des logements collectifs promotionnels et sociaux utilisent respectivement les persiennes comme dispositif d'ombrage principal afin d'occulter les espaces intérieurs des rayonnements solaires directs. Tandis que 34.016 % et 31.15 % entre eux affirment respectivement qu'ils se contentent d'utiliser les rideaux pour la même raison. Par ailleurs, nous observons que les pourcentages obtenus pour le choix de l'utilisation des stores comme dispositifs d'ombrage intérieur atteignent seulement le 16.67 % pour les logements collectifs promotionnels et 10.38 % pour les logements sociaux. La figure 4\_36 montre également que ces valeurs sont très proches entre elles pour les différentes salles des séjours des logements de ces deux types d'habitation. Cela explique que la majorité des habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels utilisent le même type d'occultation dans leurs logements qui est la persienne. Cela illustre également les courtes durées de l'utilisation de la lumière naturelle et les rayonnements solaires par les habitants pour éclairer et chauffer naturellement leurs salles de séjour.

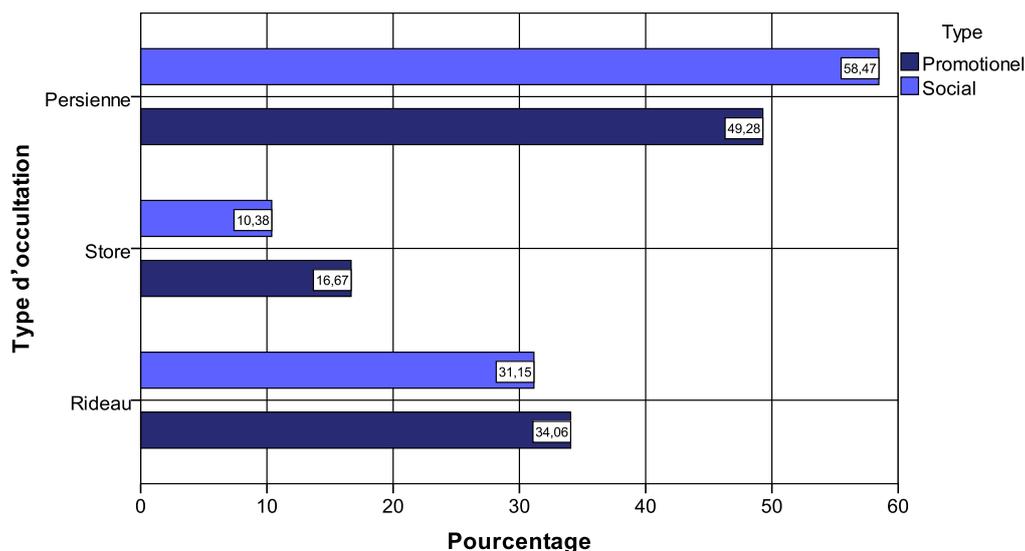


Figure 4–35: Type d'occultation utilisé en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

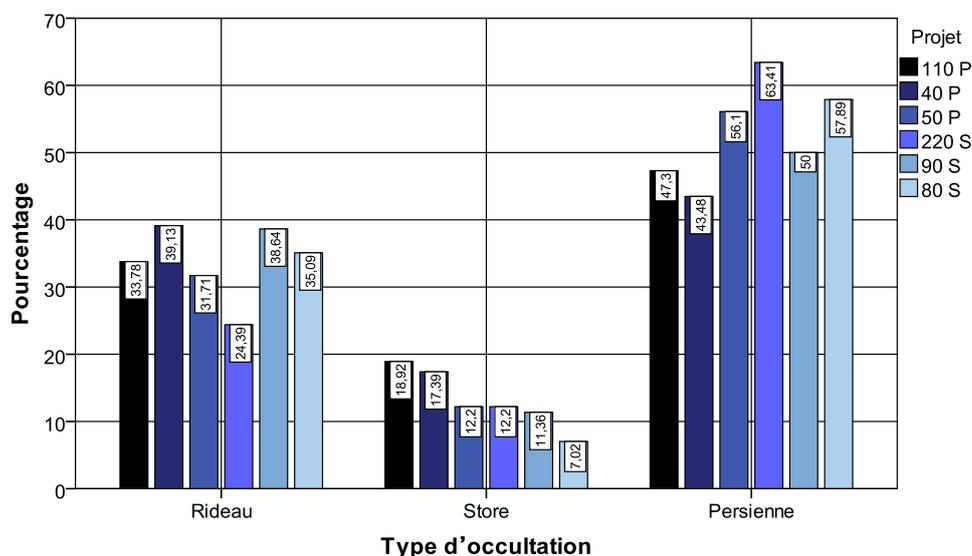


Figure 4–36: Type d'occultation utilisé en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

#### 4.4.3. Utilisation des énergies non renouvelables

À la lecture des résultats présentés dans les figures 4\_37 et 4\_38, nous constatons que la majorité des habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels assurent le confort thermique de leurs logements pendant la période estivale par le recours au système mécanique, où 37.68 % des habitants participants des logements promotionnels sont « fortement d'accord » avec l'idée de l'utilisation des climatiseurs pendant cette période, et 46.38 % entre eux ont voté sur « d'accord » pour ce sujet. En outre, nous observons que les résultats obtenus pour les logements sociaux sont toutefois semblables à ceux des logements

promotionnels, où 51.37 % des habitants de ce type de logements sont « fortement d'accord » à cette question, en plus, on trouve que 39.34 % entre eux sont « d'accord » au sujet de l'utilisation des climatiseurs pendant la période estivale. Dans la même perspective, la figure 4\_38 illustre les résultats des avis des habitants participants des logements de chaque projet sur l'utilisation des climatiseurs pendant cette période.

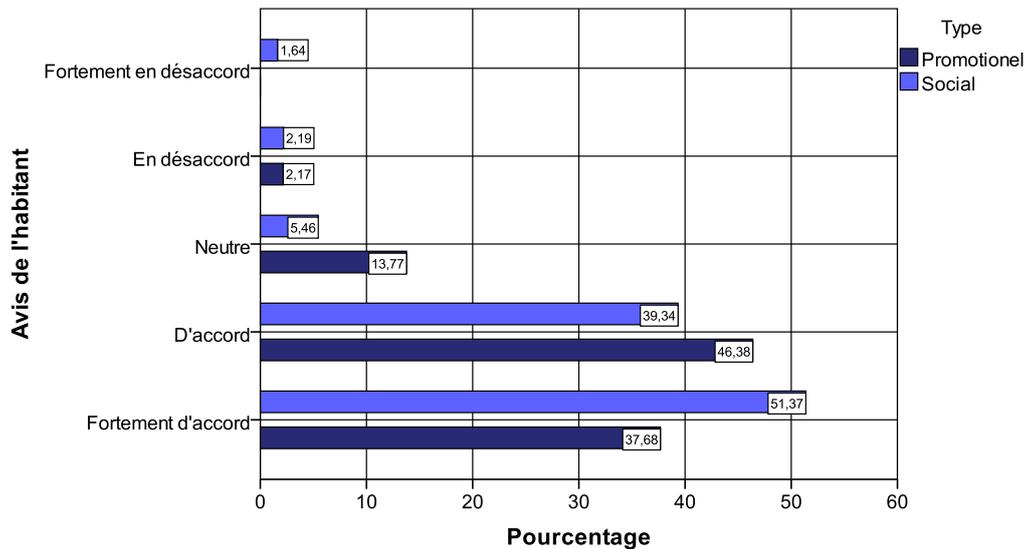


Figure 4–37: Utilisation de système de refroidissement pendant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

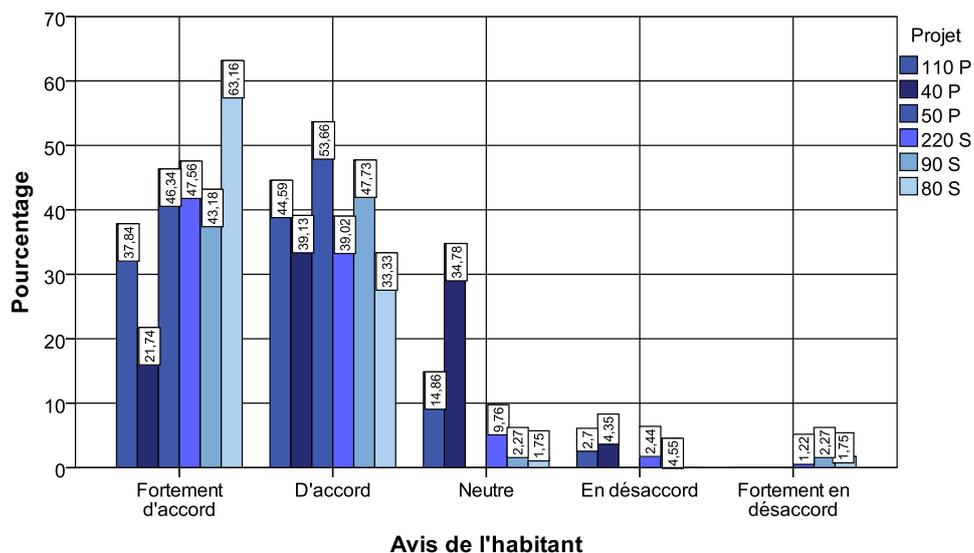


Figure 4–38: Utilisation de système de refroidissement pendant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Dans le but de prendre plus d'informations sur ce sujet, les figures 4\_39 et 4\_40 présentent les pourcentages représentatifs de la durée de l'utilisation de ces systèmes mécaniques de climatisation par les habitants de ces deux types de logements pendant la période estivale. Les variations des pourcentages de la durée de l'utilisation des climatiseurs présenté dans la figure 4\_39 montrent qu'entre 23.74 % et 49.12 % des participants des différentes cités ont affirmé qu'ils utilisent les climatiseurs pour une durée supérieure à (8h <). Tandis que la durée comprise entre 6h et 8h prend, des pourcentages varient entre 19.39 % et 39.02 % dans les deux types de logements, alors que la durée qui varie entre 4h et 6h atteint des pourcentages entre 8.77 % et 33.78 % dans les logements du cas d'étude.

Par ailleurs, la figure 4\_40 relève que 42.08 % des habitants participants des logements sociaux et 25.36 % des occupants des logements promotionnels ont répondu pour la durée plus que (8h <), tandis que la durée comprise entre 6h et 8h prend le 32.24 % et le 31.88 %, respectivement pour les logements collectifs sociaux et promotionnels. Cela explique selon notre point de vue l'inefficacité thermique de ces deux types d'habitations pendant la période estivale.

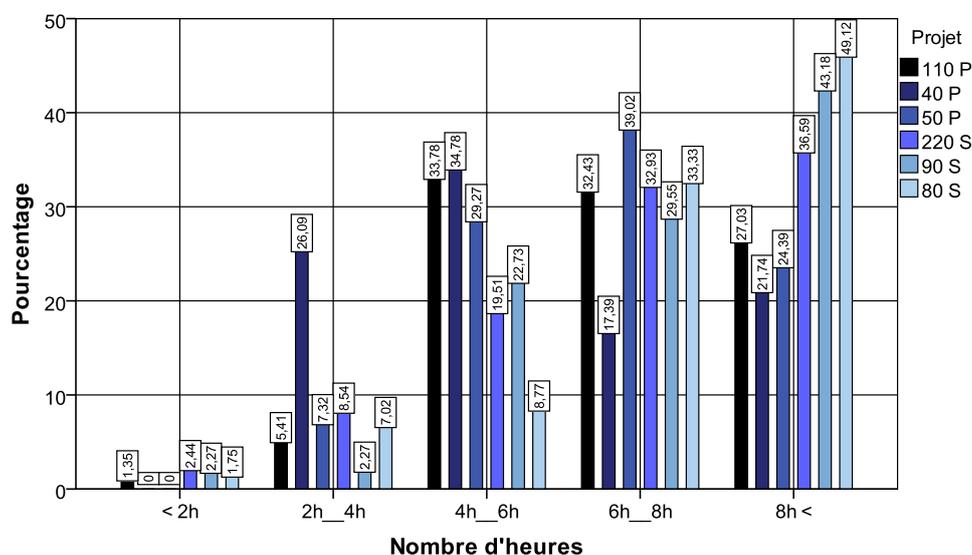


Figure 4–39: Durée de l'utilisation de système de climatisation durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

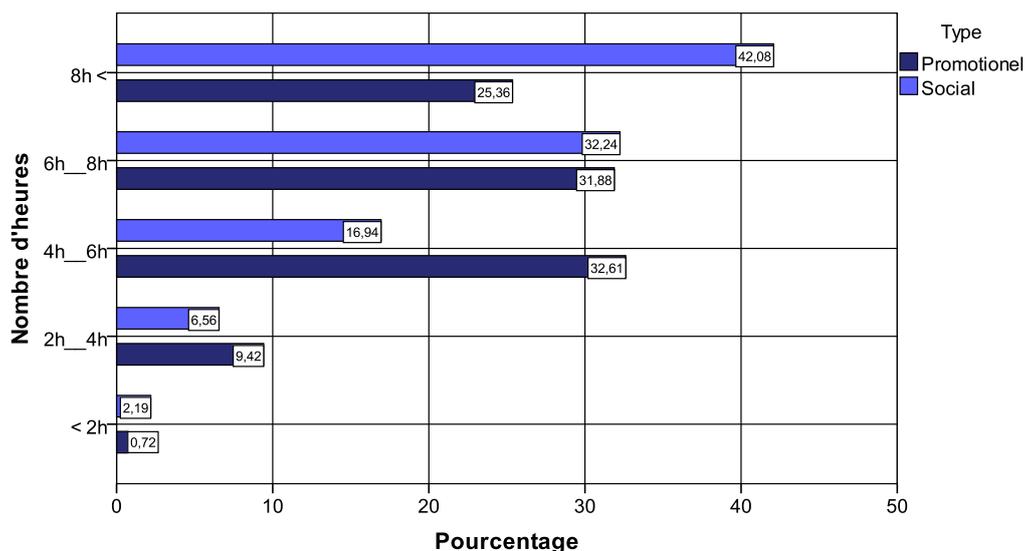


Figure 4–40: Durée de l'utilisation de système de climatisation durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

D'autre part, les figures 4\_41 et 4\_42 nous montrent que la majorité des habitants affirment qu'ils utilisent le système de chauffage pendant la période hivernale. Cela exprime également l'inefficacité thermique de ces deux types d'habitations pendant la période hivernale. Où 85.25 % des habitants participants des logements sociaux indiquent qu'ils sont « d'accord » à « fortement d'accord » envers cette question, comme la montre la figure 4\_41. En outre, cette figure fait ressortir également que 79.71 % des habitants des logements collectifs promotionnels ont choisis les mêmes réponses des habitants des logements sociaux consternants le même sujet.

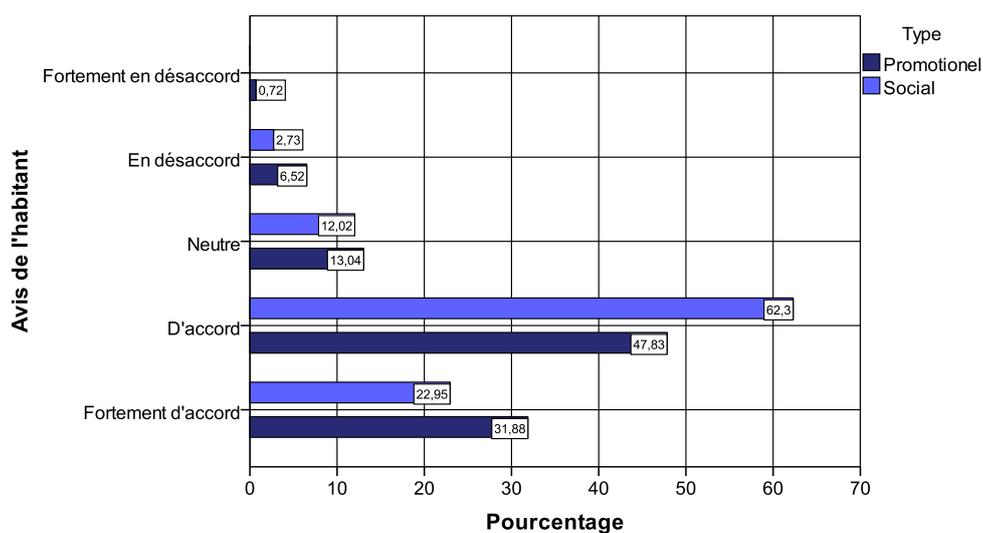


Figure 4–41: Utilisation de système de chauffage pendant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

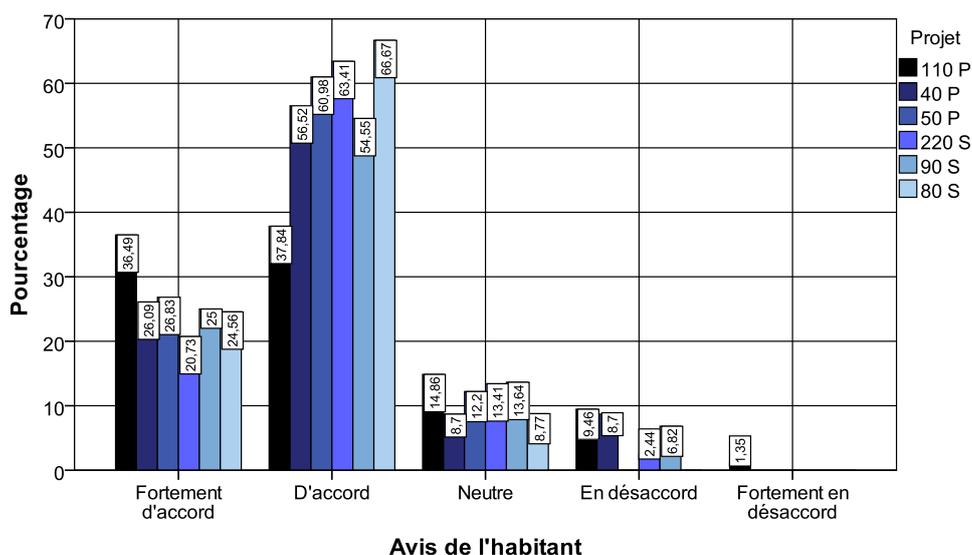


Figure 4-42: Utilisation de système de chauffage pendant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Par ailleurs, les figures 4\_43 et 4\_44 relèvent les valeurs représentatives de la durée de l'utilisation du système de chauffage dans les logements collectifs sociaux et promotionnels pendant la période hivernale. La lecture de la figure 4\_43 illustre que 70.28 % des habitants affirment que la durée de l'utilisation du chauffage pendant cette période varie entre 4h à plus de (8h <), tandis que 71.14 % des habitants des logements collectifs indiquent qu'ils utilisent le chauffage tout au long de la même durée. La figure 4\_44 relève également de légères variations des durées de l'utilisation des systèmes de chauffage pendant la période hivernale dans les différents types logements. Ces modestes valeurs expriment une autre fois l'inefficacité thermique de ces deux types d'habitation, cela est dû sans aucun doute à l'absence ou à la mauvaise utilisation des isolations thermiques au niveau des parois extérieures.

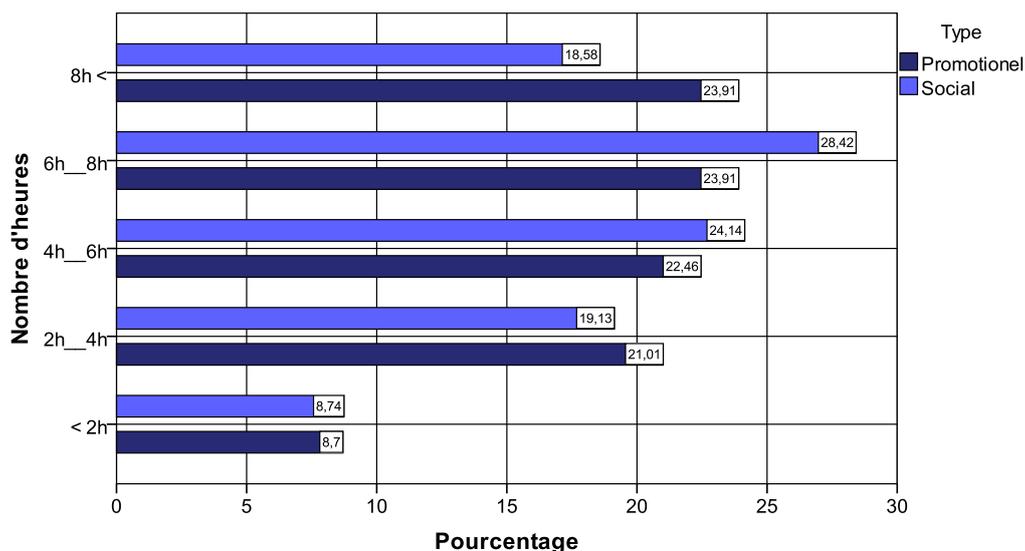


Figure 4–43: Durée de l'utilisation de système du chauffage durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

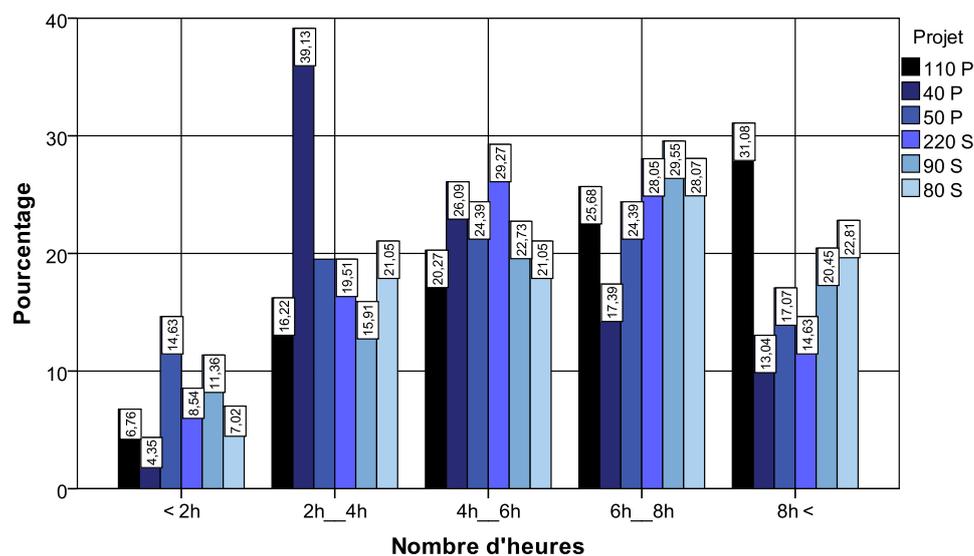


Figure 4–44: Durée de l'utilisation de système du chauffage durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

D'autre part, les figures 4\_45\_ et 4\_46 présentent la durée de l'utilisation de la lumière naturelle dans les deux types de logements. D'après la figure 4\_45 nous constatons que les valeurs les plus élevées se situent dans la durée de 2h à 4h, où le pourcentage des logements promotionnels atteint le 48.55 %, tandis que le pourcentage des logements sociaux touche le 48.63 %, ces résultats expriment l'efficacité des logements collectifs sociaux et promotionnels en matière de la lumière naturelle. Néanmoins, si nous comparons ces résultats avec ceux obtenus dans les figures 4\_33 et 4\_34, on peut affirmer que les types d'activités utilisés par

les occupants n'exigent pas une très grande quantité de la lumière ou une bonne qualité d'éclairage.

D'après tout ce que nous avons vu dans cette partie, on peut souligner que ces résultats confirment d'une part les premières parties des hypothèses « confort thermique ». Par contre, les deuxièmes parties déclarées «confort lumineux » ne sont pas conformes dans cette étude.

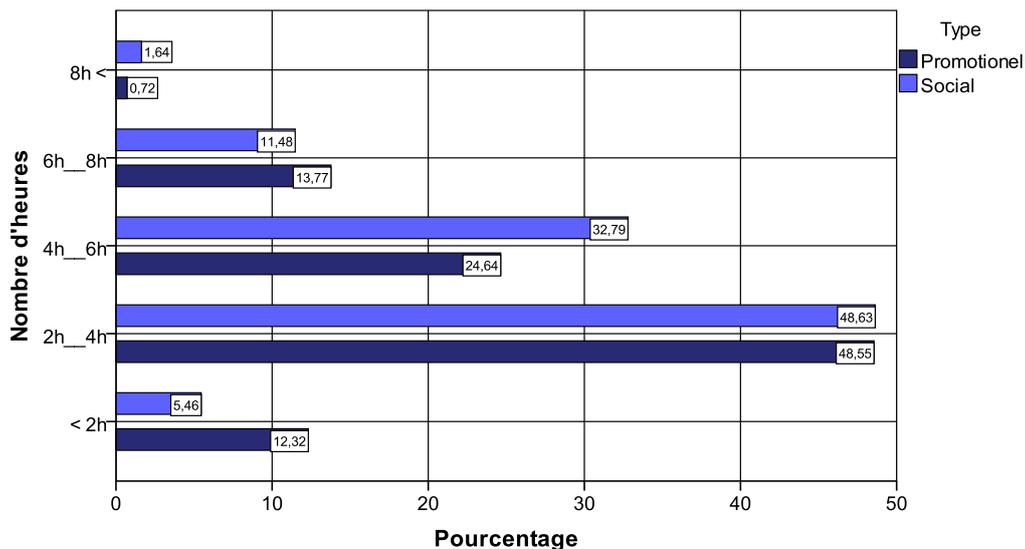


Figure 4–45: Durée de l'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

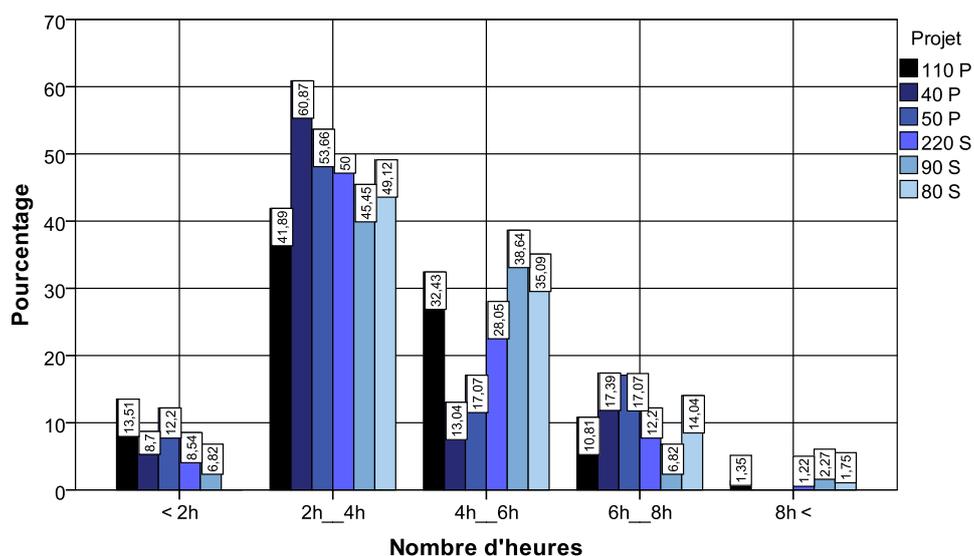


Figure 4–46: Durée de l'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

## 4.5. Evaluation subjective du confort thermique des habitants

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons étudié le niveau du confort thermique et lumineux par l'utilisation des items « questions » indirects. Par ailleurs, nous nous pencherons dans les pages qui suivent sur la question du confort thermique et lumineux des logements collectifs sociaux et promotionnels de la ville de Biskra par l'utilisation des questions directes sur le niveau du confort et de la sensation thermique et lumineuse des habitants de ces logements.

### 4.5.1. Période estivale

Les résultats présentés dans la figure 4\_47 relèvent que les habitants des logements collectifs sociaux ont une sensation plus chaude que les habitants des logements collectifs promotionnels pendant la période estivale, où 73.22 % des habitants participants dans les logements sociaux se sentaient de « chaud » à « très chaud », tandis que 25.9 % des habitants des logements promotionnels se sentaient à ce niveau. Cependant, la figure 4\_48 montre que les résultats de toutes les cités du cas d'étude sont très proches et que la différence que nous avons constaté précédemment dans les réponses des 43.48 % des habitants des 40P qu'ils ont certifié qu'ils se sentaient « légèrement chaud » dans leurs logements durant la période estivale.

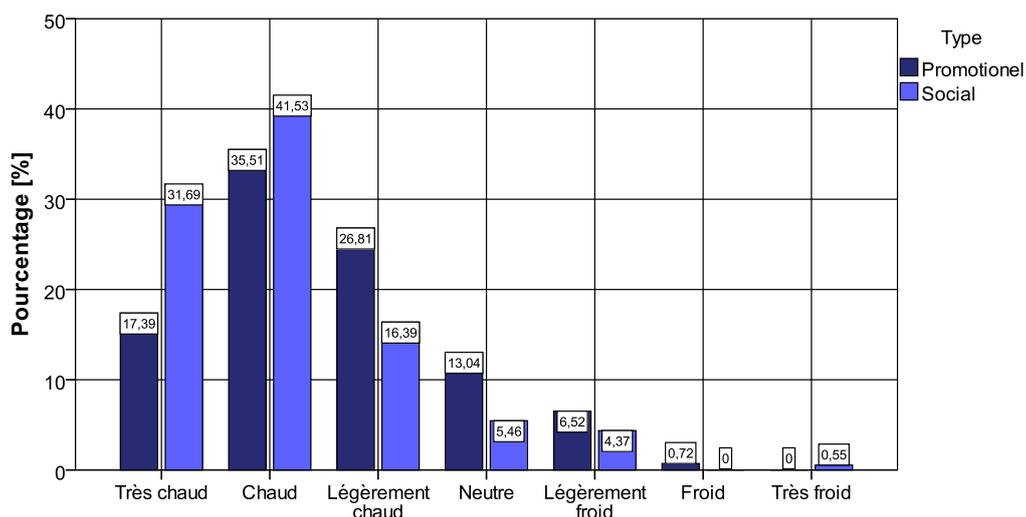


Figure 4–47: Sensation thermique durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

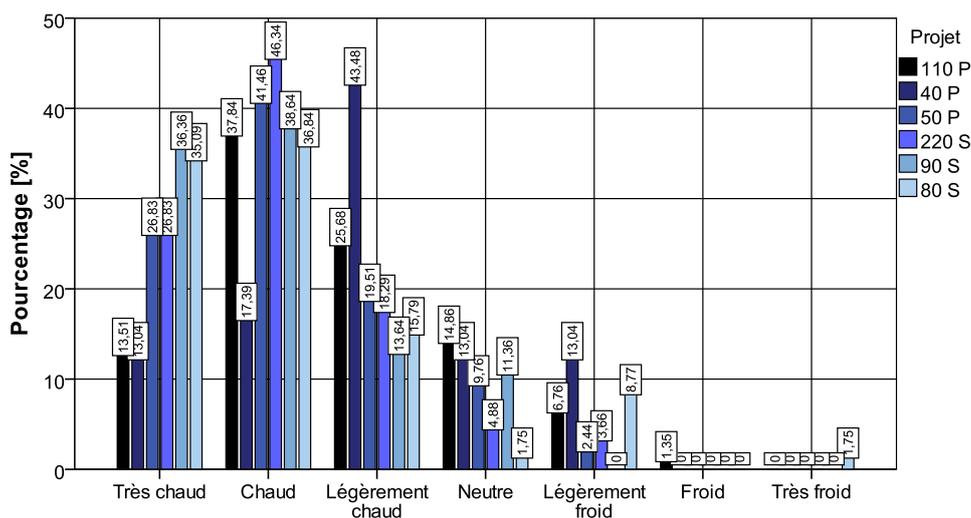


Figure 4-48: Sensation thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Dans le but de parvenir à l’objectif poursuivi, la figure 4\_49 présente les variations des pourcentages de niveau du confort thermique des habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels. D’après la lecture de cette figure, nous constatons que 49.18 % des habitants participants dans les logements sociaux sont dans un état inconfortable thermiquement, et 14.75 % ont affirmé qu’ils sont dans un état très inconfortable. Tandis que 42.75 % des habitants des logements collectifs promotionnels sont dans un état inconfortable et 9.42% étaient dans un niveau très inconfortable. Cela confirme les résultats qu’on a obtenus dans la première étape de ce chapitre. Dans la même perspective, la figure 4\_50 présente les pourcentages du niveau de confort des habitants de chaque projet.

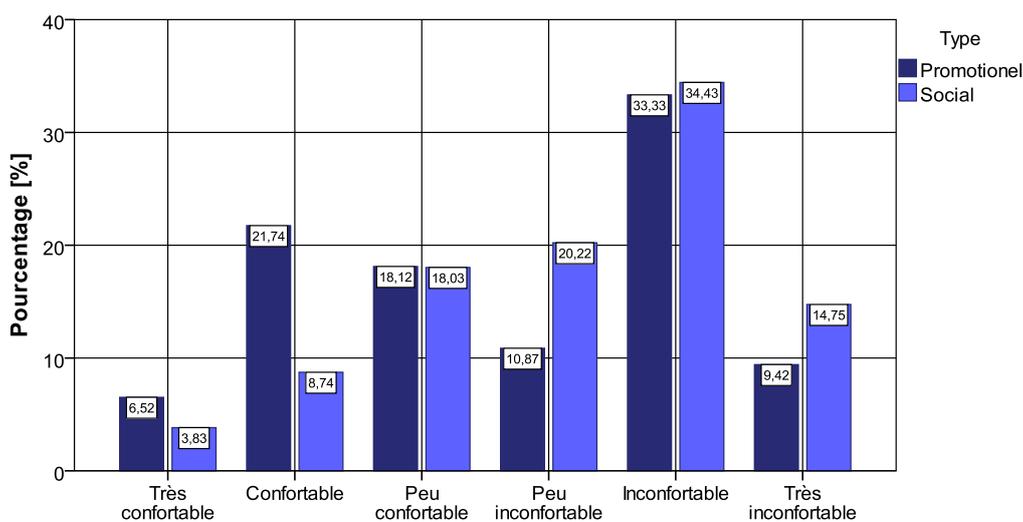


Figure 4-49: Niveau du confort thermique durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

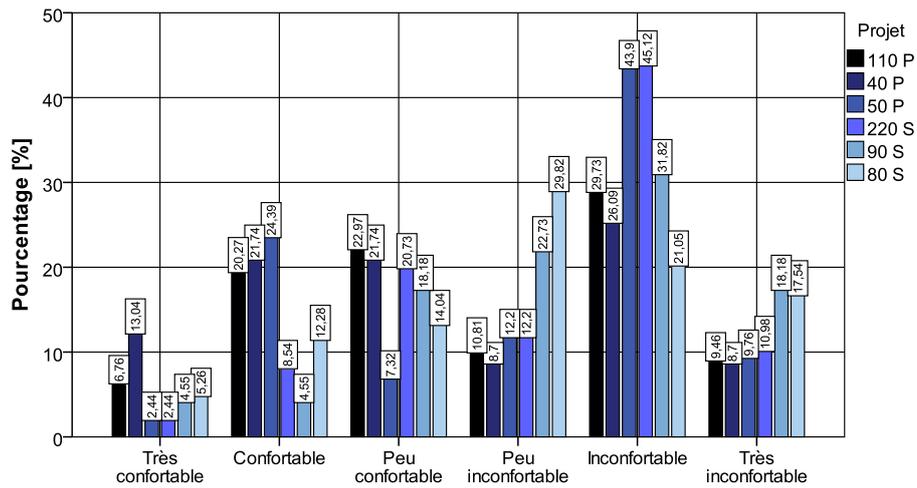


Figure 4–50: Niveau du confort thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

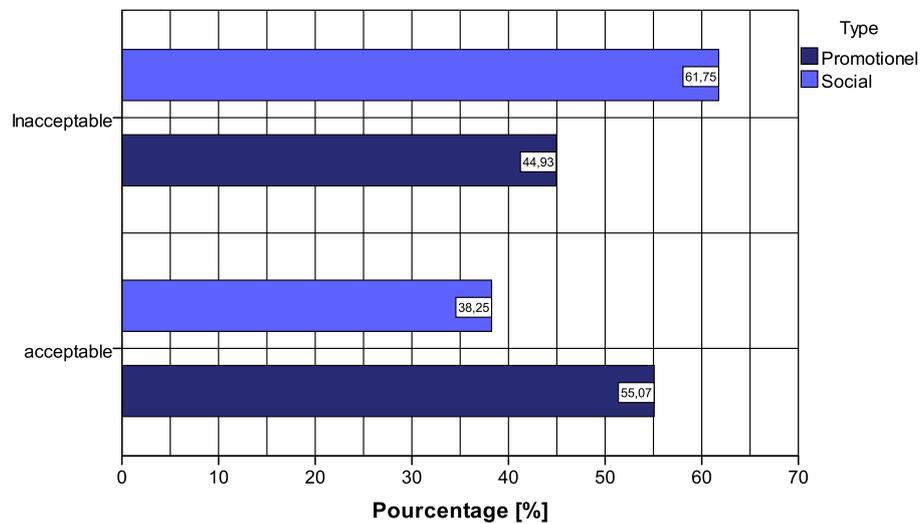


Figure 4–51: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque type d'habitation (Source : Auteur)

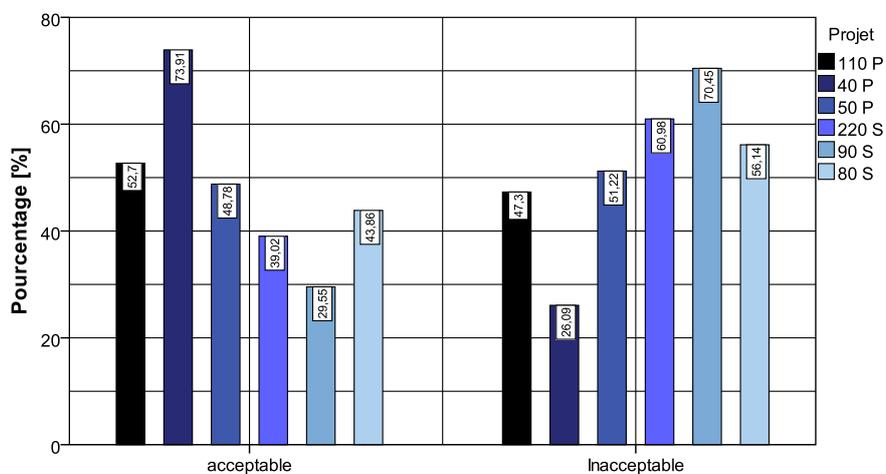


Figure 4–52: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

À l'étude de l'acceptation de l'environnement thermique durant la période estivale, l'interprétation de la figure 4\_51 signale de légères variations entre les pourcentages indiqués pour les deux choix « acceptables » et « inacceptables ». Ces résultats montrent que l'environnement thermique interne de ces deux types de logements est acceptable durant cette période comme l'affirment 55.07 % des habitants des logements promotionnels et 38.25 % des habitants de logements sociaux. Dans le même ordre d'idée, la figure 4\_52 fait ressortir que les pourcentages de vote sont inférieurs à 80 %. Cela confirme que l'environnement thermique interne est inacceptable pour les habitants de tous les logements étudiés (sociaux et promotionnels).

Par ailleurs, il est à noter que les résultats obtenus pour le niveau de l'humidité pendant les deux périodes estivales et hivernales et présentées dans l'annexe B.

#### 4.5.2. Période hivernale

Durant la période hivernale, les valeurs obtenues dans la figure 4\_53 montrent que le niveau de la sensation de la plupart des habitants des deux types de logements étudiés varie entre « légèrement chaud » et « légèrement froid », où 65.95 % des habitants participant des logements promotionnels se sentaient de légèrement chaud à légèrement froid durant cette période. De plus, cette figure indique également que 63.39 % des habitants des logements collectifs sociaux ont le même niveau de sensation que ceux des logements promotionnels. Les valeurs détaillées en fonction de chaque projet sont présentées dans la figure 4\_54.

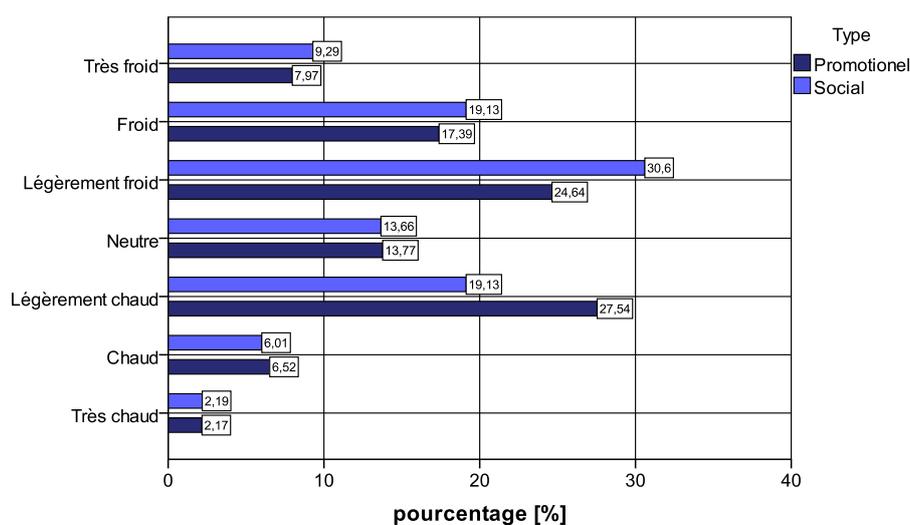


Figure 4–53: Sensation thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

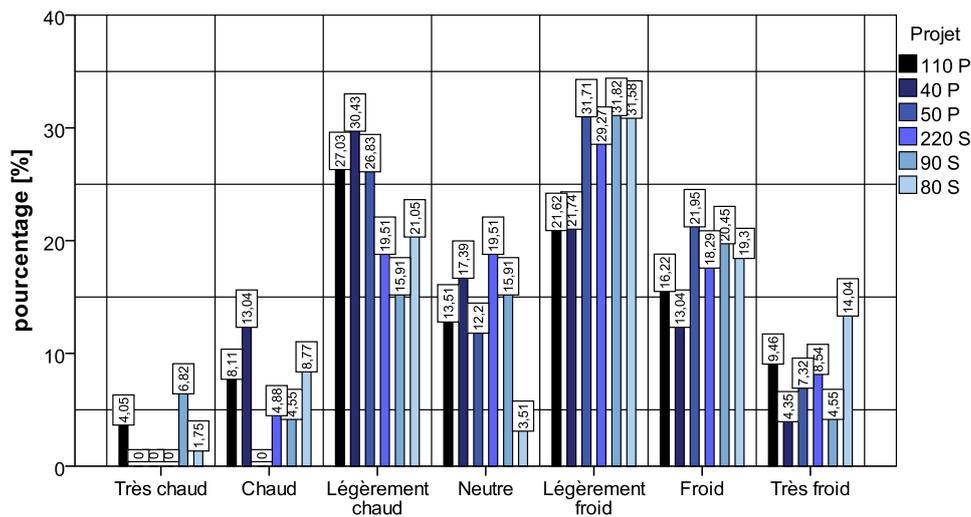


Figure 4–54: Sensation thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Afin de confirmer les résultats obtenus par le niveau de satisfaction des habitants, les figures 4\_55 et 4\_56 présentent les valeurs obtenues pour du confort thermique des habitants durant la période hivernale.

À ce niveau, l'interprétation de la figure 4\_55 illustre une légère variation des pourcentages du niveau du confort thermique pour les deux types de logements. À ce titre, les valeurs les plus hautes varient entre la réponse « peu inconfortable », « peu confortable » et « confortable », où 56.52 % des habitants participants ont ce même niveau de confort, tandis que 60.65 % des participants des logements sociaux ont répondu que leur niveau de satisfaction varie entre « peu inconfortable » et « peu confortable ».

Ces réponses indiquent que les logements collectifs promotionnels et sociaux sont confortables durant la période hivernale. Cependant, et après la comparaison des résultats des figures 4\_55 et 4\_56 avec les valeurs indiquées dans les figures 4\_41 et 4\_42, nous pouvons déduire que le niveau du confort et de la sensation thermique des habitants sont dues à l'utilisation intensive des systèmes de chauffage pendant cette période.

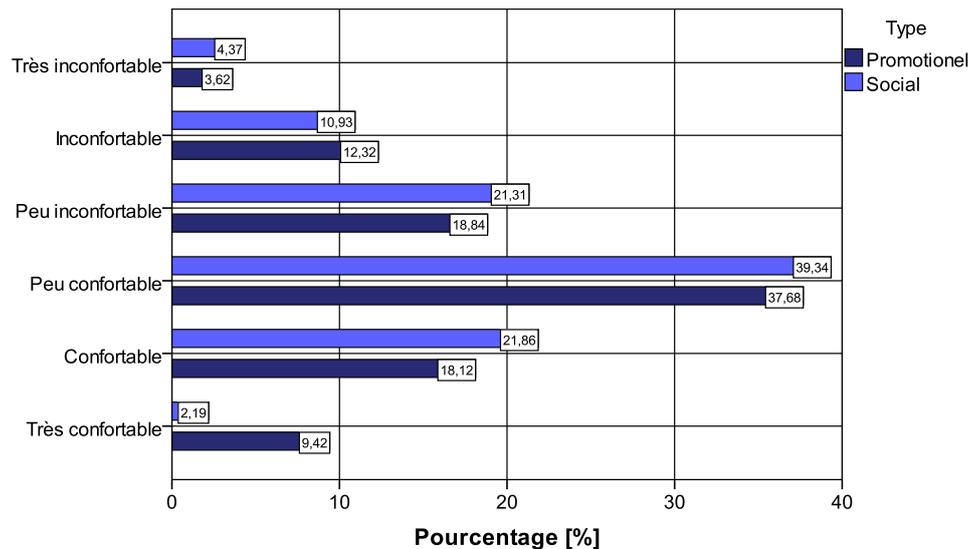


Figure 4-55: Niveau du confort thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

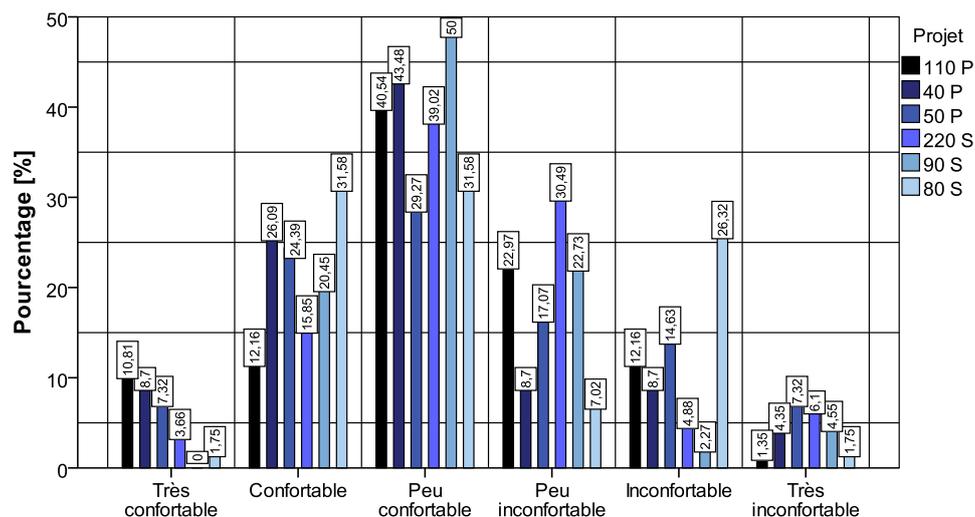


Figure 4-56: Niveau du confort thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Les figures 4\_57 et 4\_58 illustrent que l'environnement thermique des salles de séjour des deux types de logements est acceptable comme l'affirment 69.57 % seulement des habitants participants dans les logements collectifs promotionnels, tandis que 69.4 % seulement des habitants des logements collectifs sociaux ont jugé leurs environnements thermiques comme un environnement acceptable. De cela, on peut considérer que l'environnement thermique interne des logements collectifs sociaux et promotionnels n'est pas acceptable, car la majorité des résultats indiqués sont inférieurs à 80 %.

D'après tout ce qu'on a vu dans l'évaluation subjective du confort thermique nous pouvons déduire que ces deux types de logements n'assurent pas le confort thermique sans l'utilisation des systèmes mécaniques comme le chauffage pendant la période hivernale et le climatiseur pendant la période estivale. Cela confirme que l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs de l'habitat social et promotionnel de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ces deux types de logements, conduisent à une sensation d'inconfort thermique et lumineux des occupants.

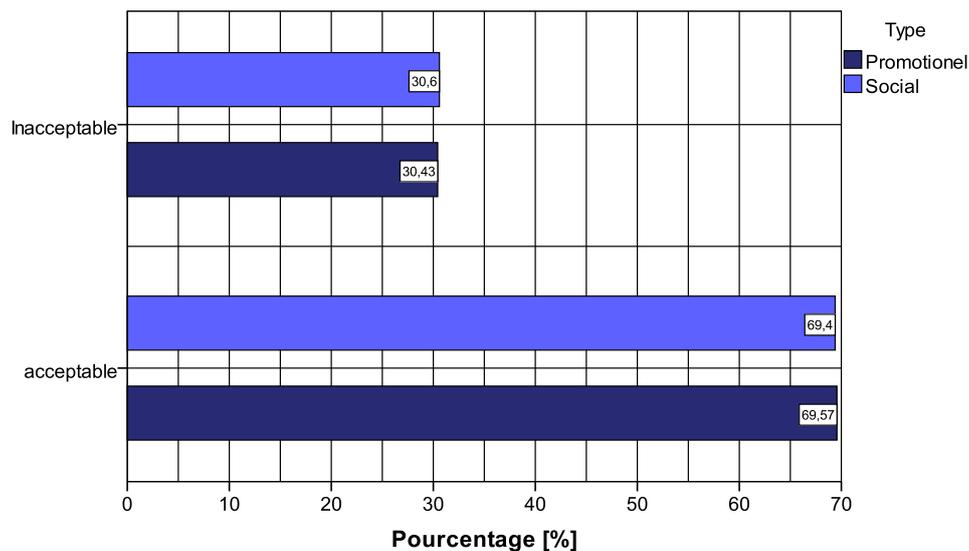


Figure 4–57: L'environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

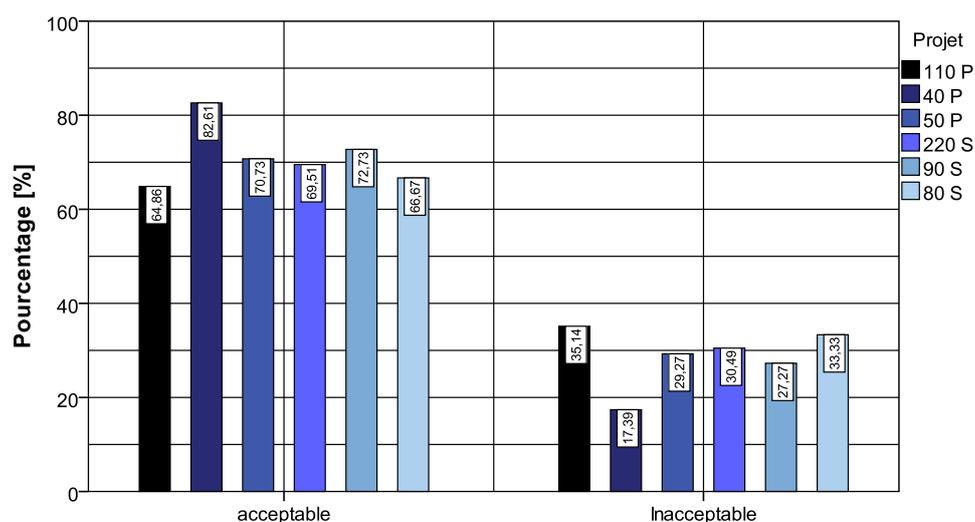


Figure 4–58: L'environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

## 4.6. Évaluation subjective du confort lumineux

### 4.6.1. Période estivale

Dans le but de parvenir à l'objectif de l'évaluation subjective du confort lumineux des habitants des logements collectifs étudiés, l'interprétation des résultats indiquées dans les figures 4\_59 et 4\_60 relèvent de légères variations des pourcentages représentatifs du niveau de la sensation lumineuse des habitants de logements promotionnels et sociaux pendant la période estivale. À ce sujet, nous observons que 83.06 % des habitants participants des logements collectifs sociaux étaient entre « d'accord » et « fortement d'accord » avec la question de « qu'ils sont satisfaits envers l'environnement lumineux de leurs salles de séjour pendant la période estivale », tandis que 78.99 % des habitants des logements collectifs promotionnels témoignent qu'ils sont satisfaits à fortement satisfaits envers leurs environnement interne durant cette période. Ce bon résultat explique que les habitants ont un niveau de confort optimal durant cette période.

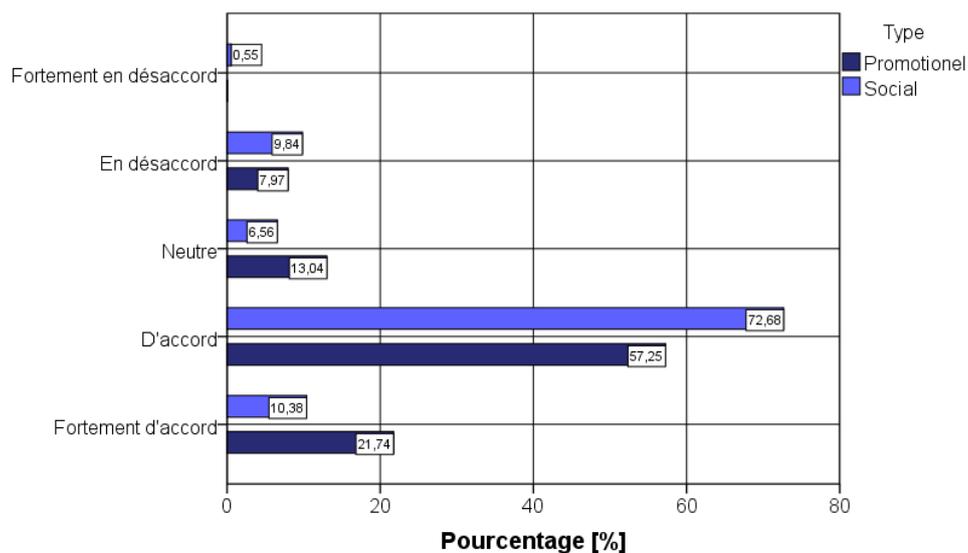


Figure 4–59: Sensation lumineuse durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

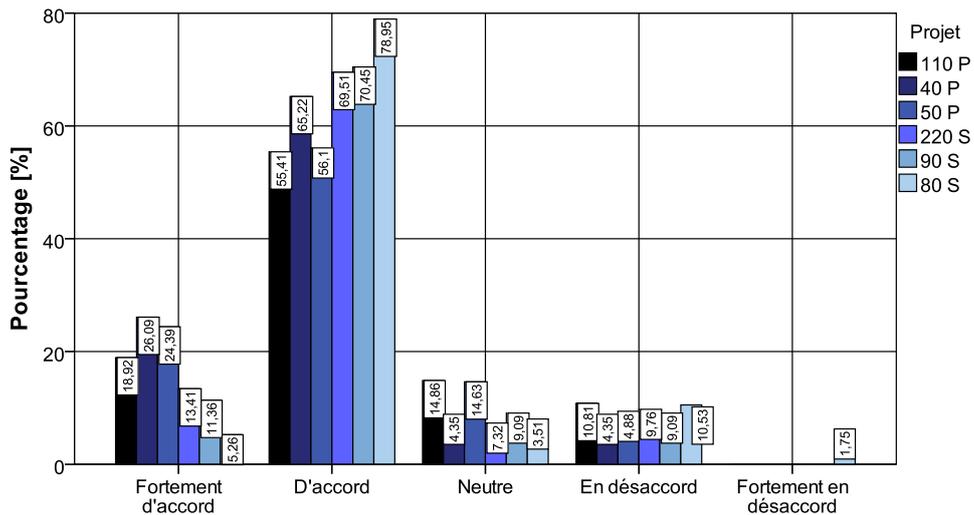


Figure 4–60: Sensation lumineuse durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Afin de vérifier cette affirmation, les figures 4\_61 et 4\_62 présentent les résultats obtenus pour étudier le niveau du confort lumineux des habitants participants dans les deux types de logements. Ces deux figures font ressortir que 48.9 % des habitants des logements collectifs ont un niveau de confort qui varie entre peu inconfortable et confortable. De même, nous constatons d’après la lecture de ces figures que 83.6 % des habitants participants des logements collectifs sociaux ont un niveau de confort qui varie entre « peu inconfortable » et « confortable » durant cette période.

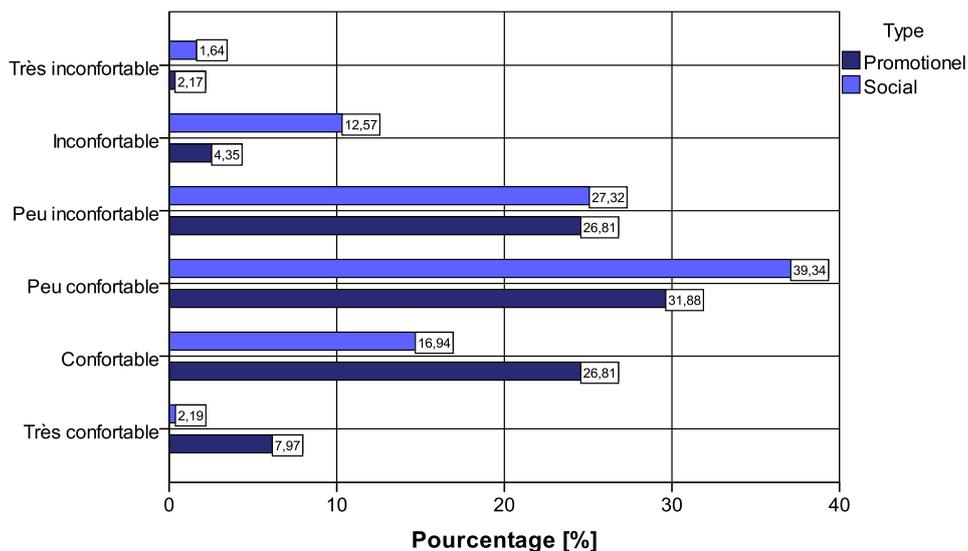


Figure 4–61: Niveau du confort lumineux durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

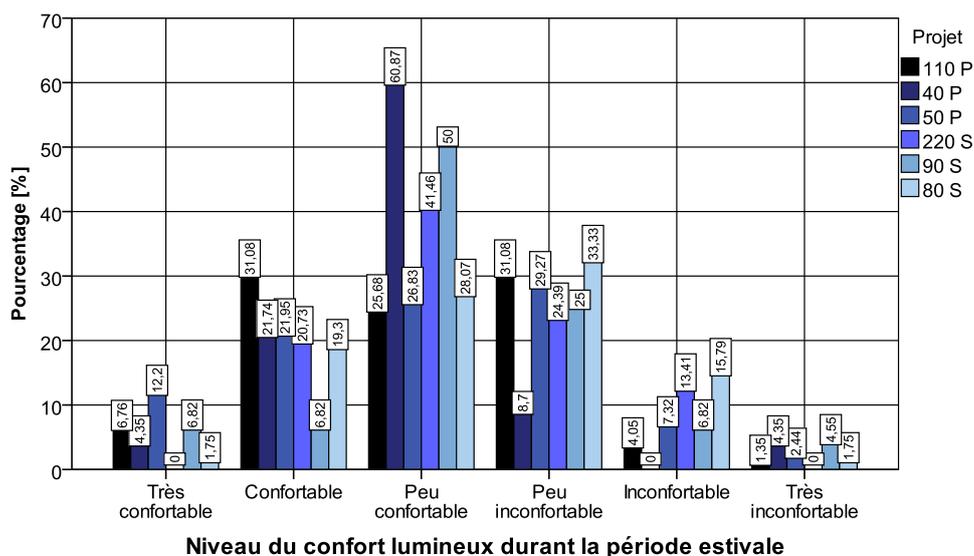


Figure 4–62: Niveau du confort lumineux durant la période estivale en fonction de chaque de chaque cité (Source : Auteur)

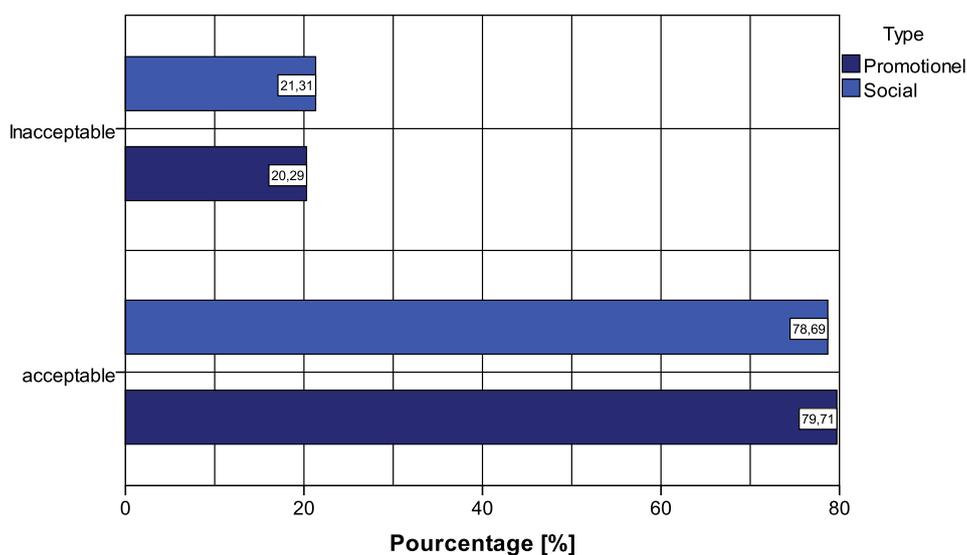


Figure 4–63: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

D'autre part, les figures 4\_63 et 4\_64 montrent de légères variations entre les résultats obtenus sur la question d'acceptation de l'environnement lumineux pendant la période estivale concernant les deux types d'habitation. D'après l'interprétation de ces figures, nous observons que 79.71 % des habitants acceptent l'environnement lumineux de leurs logements, où 79.73 % est enregistré pour les 110P, 73.91 % pour les 40P et 82.93% pour les 80S.

En outre, on observe que les résultats enregistrés pour les habitants des logements collectifs sociaux sont toutefois semblables à ceux constatés précédemment, avec un pourcentage d'acceptation qui atteint le 78.69 % pour les habitants de ce type de logements. À ce sujet la figure 4\_64 présente les pourcentages obtenus pour chaque séjour en fonction de chaque projet.

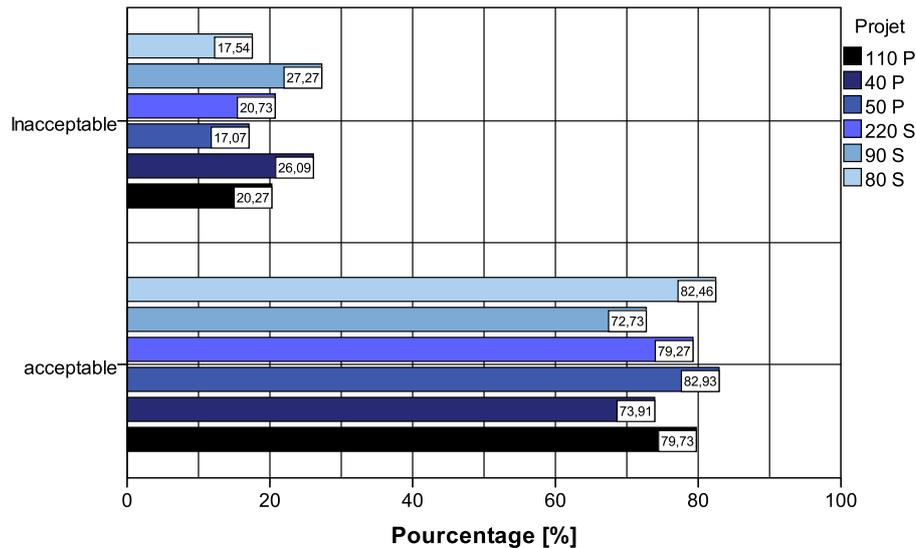


Figure 4–64: L'environnement thermique durant la période estivale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

#### 4.6.2. Période hivernale

Par une évaluation subjective du confort lumineux durant la période hivernale, les figures 4\_65 et 4\_66 font ressortir que 80.87 % des habitants participants des logements collectifs sociaux acceptent fortement l'environnement lumineux interne de leurs salles de séjour pendant cette période. D'autre part, nous constatons que les résultats obtenus pour les habitants des logements collectifs promotionnels sont très proches à ceux vus précédemment, où la valeur maximale a été enregistrée à 95.896 % dans les 40P et la valeur minimale touche le 60.81% pour les logements de 110P.

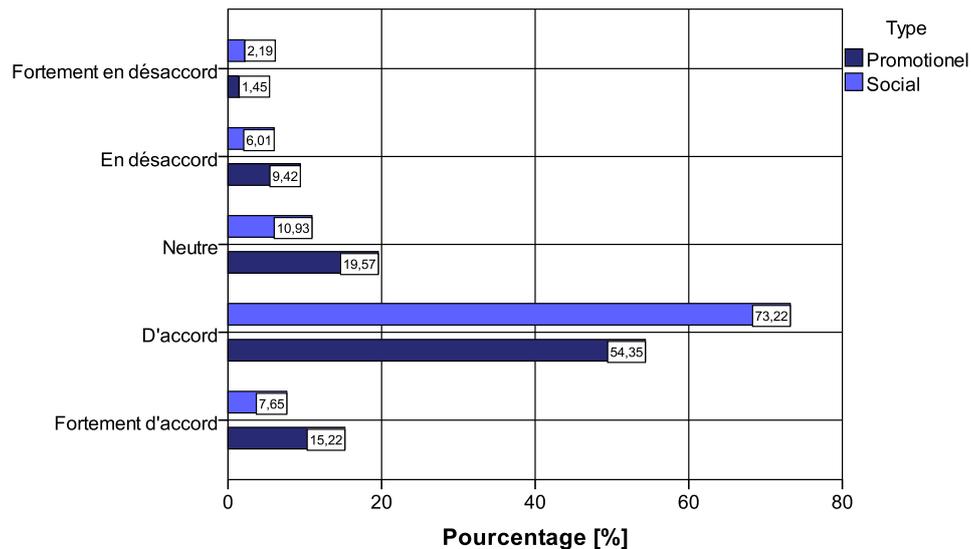


Figure 4–65: Sensation lumineuse durant la période hivernale en fonction de chaque type du logement (Source : Auteur)

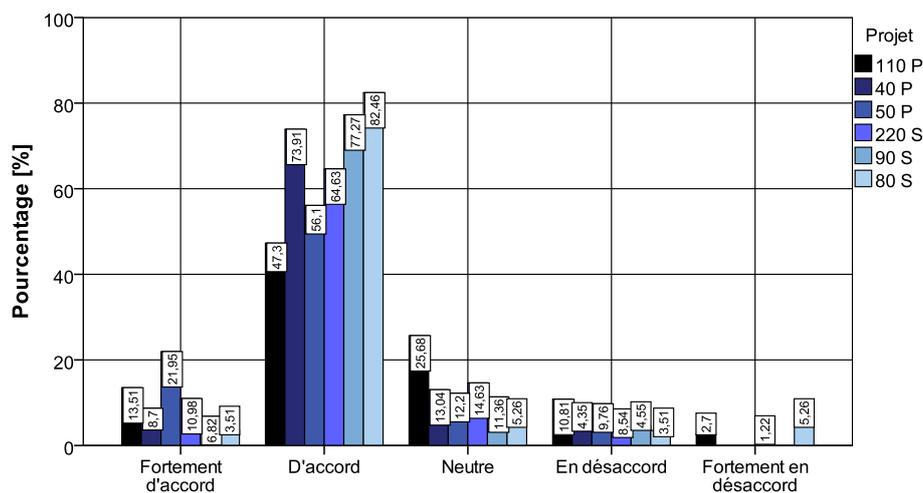


Figure 4–66: Sensation lumineuse durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Les figures 4\_67 et 4\_68 présentent les niveaux du confort lumineux des habitants des logements étudiés durant la période hivernale. D'après la lecture des résultats de ces figures, nous constatons que 76.09 % des habitants des logements promotionnels sont dans un état entre « peu confortable » et « très confortable », tandis que 80.32 % des habitants des logements collectifs sociaux affirment qu'ils ont le même niveau du confort lumineux pendant la même période qui varie entre « peu confortable » et « très confortable ».

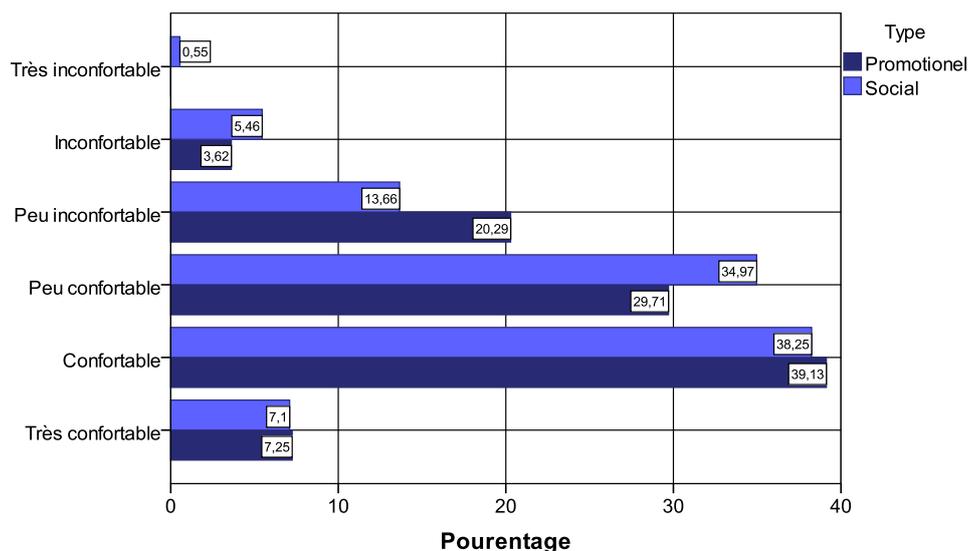


Figure 4–67: Niveau du confort lumineux durant la période hivernale en fonction de chaque de chaque type de logement (Source : Auteur)

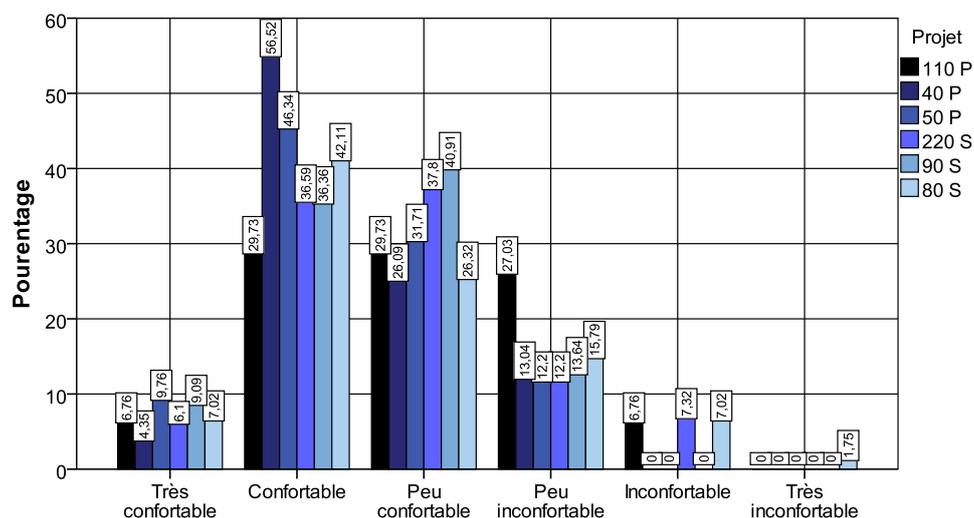


Figure 4–68: Niveau du confort lumineux durant la période hivernale en fonction de chaque de chaque cité (Source : Auteur)

D’après l’interprétation des figures 4\_69 et 4\_70 nous constatons que la majorité de notre échantillon accepte l’environnement lumineux de leur salle de séjour pendant la période hivernale, où 83.33 % des habitants participants des logements promotionnels acceptent l’environnement lumineux de leurs salles de séjour, tandis que 87.43 % des participants dans logements sociaux indiquent également que l’environnement lumineux de salles de séjour est acceptable.

De ce qui précède, on peut déduire que ces résultats ne confirment pas les deuxièmes parties de nos hypothèses déclarées dans le chapitre introductif concernant le confort lumineux.

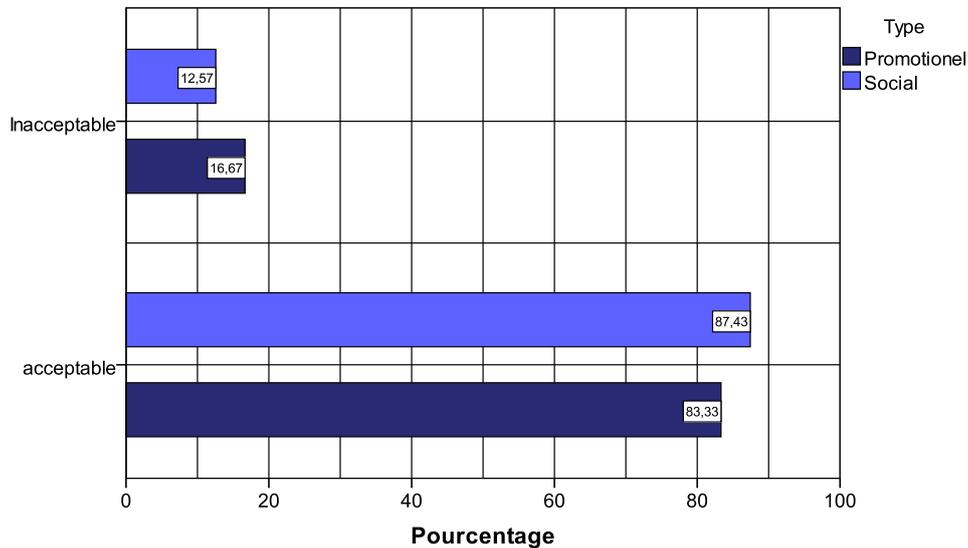


Figure 4–69: L'environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

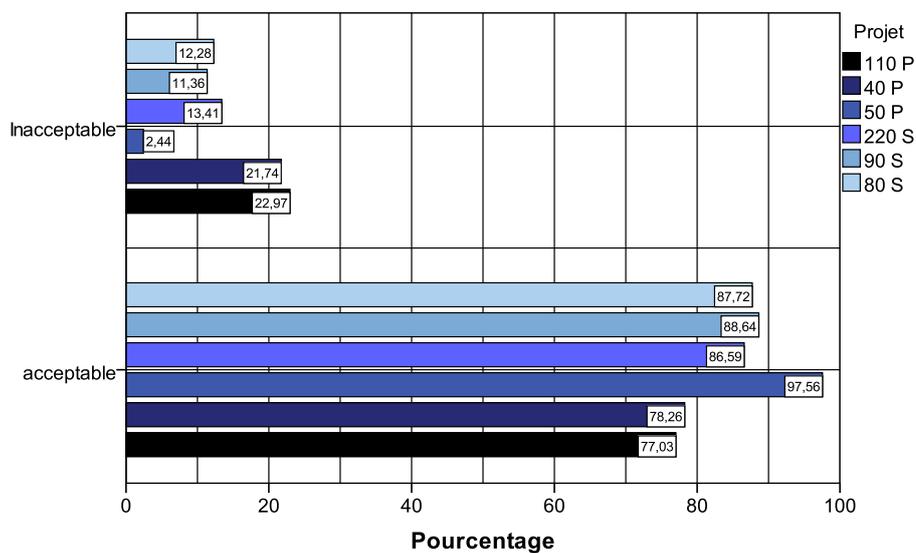


Figure 4–70: L'environnement thermique durant la période hivernale en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats obtenus à partir d'une investigation subjective sur le confort thermique et lumineux des habitants des logements. Après avoir présenté les caractéristiques personnelles des habitants, nous avons vérifié le nombre des habitants par logement, ou nous avons décidé de prendre en considération le nombre de cinq (5) membres par logement pour réaliser les simulations du prochain chapitre.

Par l'utilisation de la méthode comparative, nous avons évalué subjectivement le niveau du confort thermique et lumineux des habitants de deux types de logements. A ce propos, nous pouvons déduire que ces deux types de logements n'assurent pas le confort thermique à l'exception de l'utilisation des systèmes mécaniques comme le chauffage pendant la période hivernale et le climatiseur pendant la période estivale. Cela confirme nos hypothèses déclarées concernant le confort thermique, par contre ils ne confirment pas ces hypothèses concernant le confort lumineux, voire le chapitre introductif.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les résultats des simulations afin d'évaluer objectivement le confort thermique et lumineux des habitants de ces deux types de logements.

## **Chapitre 5 :**

# **Évaluation objective du confort thermique et lumineux des logements collectifs**

## **Chapitre 5: Évaluation objective du confort thermique et lumineux des logements collectifs**

### **Introduction**

Nous allons discuter dans ce chapitre les résultats obtenus à partir de plusieurs simulations numériques des indices d'évaluation du confort thermique et lumineux et ceci afin d'évaluer objectivement le confort des habitants des logements collectifs sociaux et promotionnels. De ce fait, nous allons utiliser le paramètre de la température ambiante de l'air ( $T_a$ ) et l'indice de la température opérative ( $T_o$ ) comme indicateurs d'évaluation du confort thermique. Par ailleurs, et afin d'évaluer le confort lumineux nous allons procéder à l'utilisation des indices suivants : (i) l'indice de l'éclairement naturel utile (UDI), le facteur de la lumière du jour (DF/FLJ), l'autonomie de la lumière du jour (DA), et l'autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ ) et enfin l'indice de pourcentage de saturation de la lumière naturelle (DSP).

### **5.1. Évaluation du confort thermique**

Dans le but d'atteindre l'objectif tracé, la méthode d'analyse quantitative annuelle de la température ambiante de l'air et la température opérative nous a paru adéquate pour achever notre étude en se basant sur les pourcentages cumulés des différentes zones d'inconfort. En fait, la raison principale du choix de cette méthode d'analyse revient à l'exigence des résultats à atteindre par les indices d'évaluation du confort lumineux obtenus pour cette recherche qui sont : l'éclairement naturel utile (UDI), le facteur de la lumière du jour (DF/FLJ), l'autonomie de la lumière du jour (DA), et l'autonomie continue de la lumière du jour ( $DA_{con}$ ). Cette démarche nous permet d'achever une étude comparative entre le niveau du confort thermique et lumineux dans les différents logements sociaux et promotionnels.

#### **5.1.1. Température ambiante de l'air**

Afin de vérifier la performance thermique des modèles étudiés, on a pris les gammes de la température ambiante de l'air suggéré par l'expertise de Khoukhi et Fezzioui (2012) qui

ont été validées par une investigation réalisée sur les habitants de la ville de Biskra (voir le chapitre 3 ), où la zone confortable est ( $18 < T_a < 30$ ) et les autres zones représentent les zones inconfortables dues au chaud/froid.

#### 5.1.1.1. Comparaison 1

La figure 5\_1 présente les pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la température ambiante de l'air intérieur des différents logements situés au RDC pour chaque cité. D'après la lecture de cette figure, nous constatons de légères variations des pourcentages d'heures annuelles de la zone confortable ( $18 < T_a < 30$ ) entre les différents logements sociaux ; où l'écart type entre les valeurs obtenues ne dépasse pas le 4.32 % dans toutes les orientations. À ce niveau, la valeur maximale 33.4 % a été enregistrée pour la salle de séjour S2a\_220S orientée vers le sud-ouest, tandis que la valeur maximale 19.8 % a été enregistrée au niveau de la même salle de séjour mais dans l'orientation nord-ouest. En outre, le pourcentage moyen des différentes salles de séjour des logements sociaux concernant toutes les orientations atteint seulement le 25.97 % pour la zone confortable ( $18 < T_a < 30$ ).

D'autre part, nous constatons une divergence entre les valeurs obtenues dans les différentes salles de séjour des logements promotionnels avec un écart type qui touche le 8.14 %. La valeur maximale 43.40 % pour ces logements a été enregistrée dans la salle de séjour s2a\_110P orientée vers le sud-est. Tandis que la valeur minimale a été obtenue à 17.20 % dans un logement dans la même cité S1a\_110P au niveau de l'orientation nord-est. La valeur moyenne obtenue pour les séjours des logements collectifs promotionnels de 31.04% entre les différentes salles de séjour dans les différentes orientations étudiées. À la lecture de la zone inconfortable dans la même figure, nous observons que la valeur moyenne enregistrée dans la zone inconfortable due au chaud ( $30 < T_a < 34$ ) atteint le 17.22 % pour les logements collectifs sociaux avec un écart type très bas qui touche seulement le 0.81 % entre les différentes salles de séjour. Tandis que les valeurs moyennes des logements collectifs promotionnels touchent seulement le 15.67 % entre les différentes salles de séjour dans les différentes orientations avec un écart type de 1.63 %.

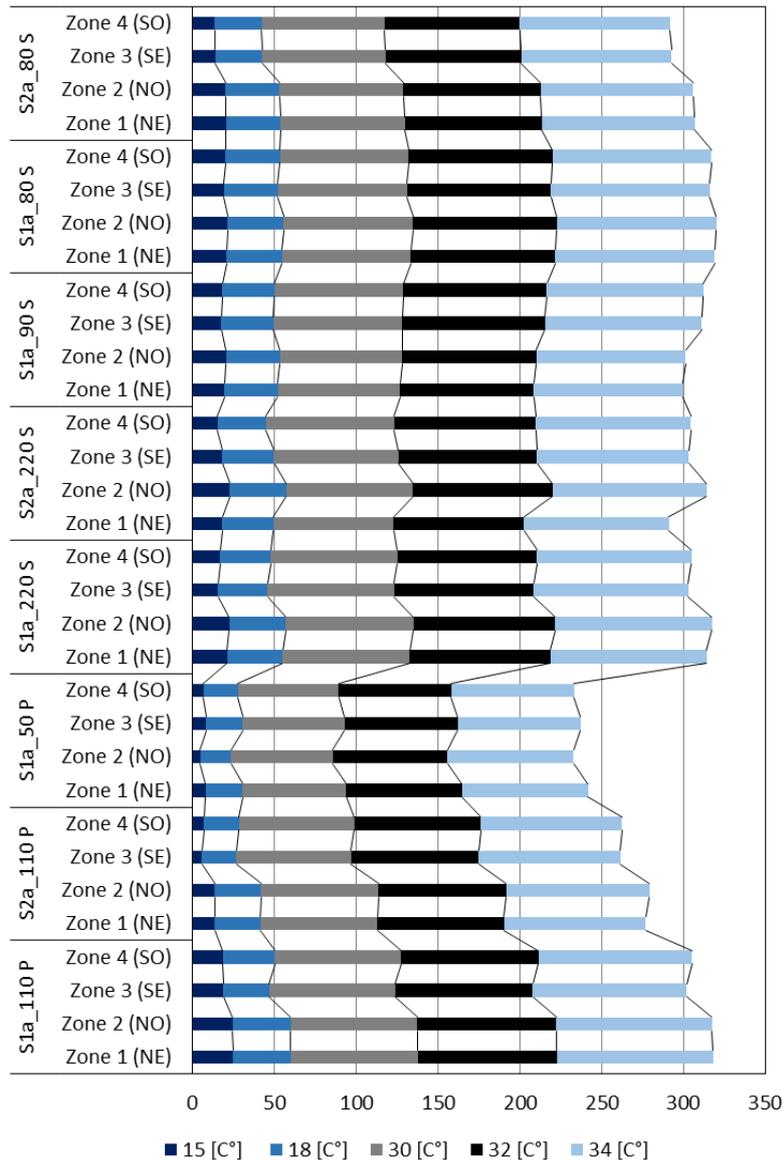


Figure 5–1: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (Ta) des différents logements de chaque cité située au RDC (Source : Auteur)

Cependant, cette figure indique également que les pourcentages cumulés qui ont été obtenus pour le (34°C) varient entre 97.4 % dans le S1a\_80S orientée vers le nord-ouest, et 75.1 % dans le S1a\_50P, et les autres pourcentages d’heure se situent dans la zone dite agressive thermiquement ( $T_a > 34$ ).

Ces résultats expliquent l’inefficacité thermique de ces deux types d’habitation qui est due à l’absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs de l’habitat social de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d’isolation thermique dans ce type de logements ce qui conduit à une sensation d’inconfort

thermique des occupants de ces logements. D'autre part, l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs de l'habitat social et promotionnel de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ces types de logements, conduisent sans aucun doute à une sensation d'inconfort thermique des occupants de ces logements.

### 5.1.1.2. Comparaison 2

D'après la lecture annuelle des pourcentages cumulés présentés dans la figure 5\_2, nous constatons que 40.67 % des heures annuelles des logements sociaux sont situées dans la zone confortable ( $15 < T < 18$ ), avec un écart type qui touche le 1.65 %, où la valeur maximale 44.90 % a été enregistrée pour le S1b\_220S orienté vers le sud-est. Tandis que la valeur minimale 38.50 % a été enregistrée pour le S2b\_90S orienté vers le nord-ouest. D'autre part, on observe que les résultats obtenus après les simulations des logements collectifs promotionnels sont toutefois semblables comme nous avons vus dans la comparaison précédente, où le pourcentage moyen des heures de la zone confortable atteint le 40.49 % pendant toute l'année dans toutes les salles de séjour des logements de ce type d'habitation dans les différentes orientations, sachant que la valeur maximal 43.40 % a été enregistrée dans le S2b\_50P orientée vers le sud-ouest. Tandis que la valeur minimale 38 % a été observée dans la même salle de séjour, mais dans l'orientation nord-ouest.

D'autre part, cette figure relève également que 13.31 % des heures inconfortables dues au chaud ( $30 < T_a < 34$ ) ont été enregistrées dans les logements collectifs sociaux avec un écart type qui touche seulement le 0.94 %, la valeur maximale arrive à 14.80 % pour le S2b\_220S orienté vers le sud-ouest, alors que les valeurs minimales atteignent le 11.80 % pour le S1b\_220S orienté vers le nord-ouest.

Par ailleurs, les pourcentages cumulés indiqués dans cette figure concernant le ( $34^\circ\text{C}$ ) varient entre 76.5 % et 90 % pour les logements promotionnels et entre 73.2 % et 90 % dans les logements sociaux. Cette figure fait ressortir également que 23.5 % en moyenne des heures annuelles des logements collectifs sociaux sont situées dans la zone dite agressive thermiquement ( $T < 34$ ). De même, 26.8 % des heures annuelles des logements promotionnels sont situées dans cette zone.

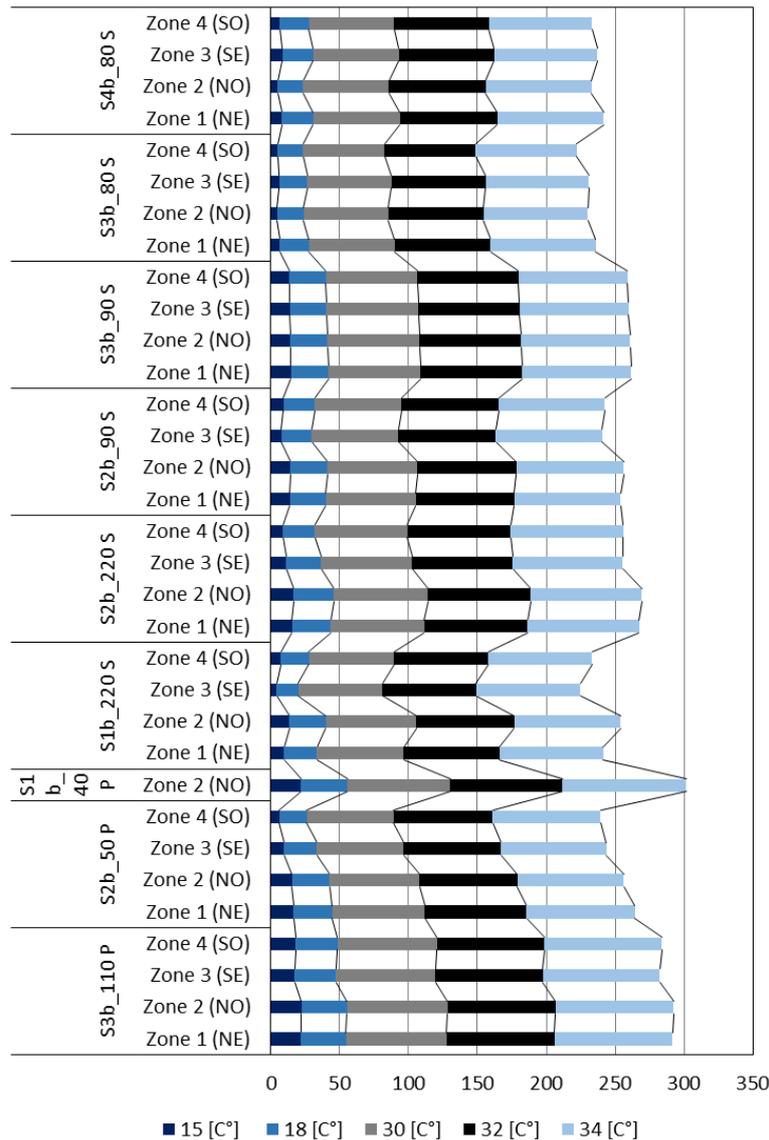


Figure 5–2: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_a$ ) des différents logements de chaque cité située au 1er étage (Source : Auteur)

### 5.1.1.3. Comparaison 3

La figure 5\_3 présente les pourcentages cumulés des heures obtenues par une classification de la température ambiante de l'air des différents logements collectifs et promotionnels situés au 3<sup>ème</sup> étage. Cette figure fait ressortir que 42.27 % des heures annuelles des salles de séjour des logements sociaux sont des heures confortables thermiquement ( $15 < T_a < 30$ ), avec un écart type qui arrive à 3.03 %. La valeur maximale 49.8% a été enregistrée dans le S3c\_90S, tandis que la valeur minimale à 38.60% marquée dans le S1c\_220S orienté vers le nord-ouest.

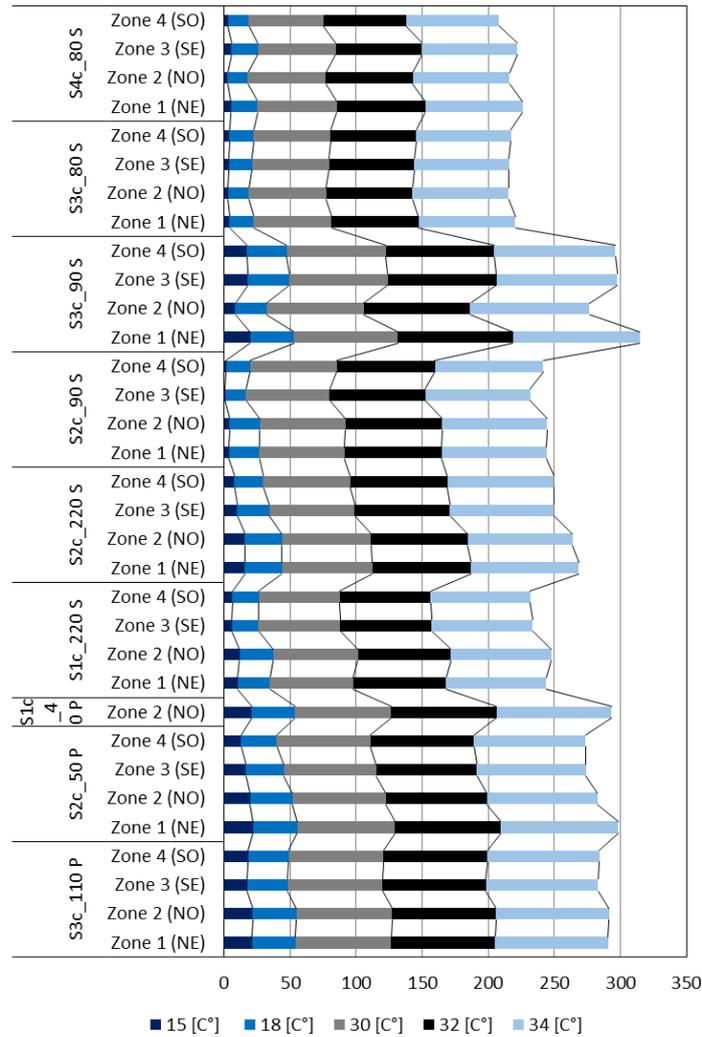


Figure 5–3: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_a$ ) des différents logements de chaque cité située au 2eme étage (Source : Auteur)

De même, on observe que seulement 40.67 % des heures annuelles des salles de séjour des logements promotionnels présentés dans cette figure sont des heures confortables avec un écart type très bas qui touche le 1.65 %. À ce niveau, la valeur maximale 44.30 % a été enregistrée pour le S2c\_50P orientée vers le sud-ouest, tandis que la valeur minimale 38.90 % a été obtenue pour la même salle de séjour, mais dans l’orientation nord-ouest.

D’autre part, cette figure relève de légères variations entre les résultats obtenus dans les zones inconfortables dues au chaud ( $30 < T_a < 34$ ) entre les logements collectifs sociaux et promotionnels avec un écart type qui touche seulement le 1.43 % entre les différentes orientations des logements de ces deux types d’habitations.

Dans la même perspective, cette figure signale également que 14.39 % des heures annuelles confortables entre les différents logements sociaux, avec un écart type qui touche le 1.59 %, sachant que la valeur maximale atteint le 17.7 % pour le S3c\_90S orienté vers le nord-est, et la valeur minimale arrive à 12.20 % pour le S1c\_220S orienté vers le nord-ouest.

D'après la lecture des pourcentages cumulés du seuil (34°C), on peut déduire que ces deux types de logements ne sont pas confortables pour les habitants, et comme conséquence ils ont recours aux consommations énergétiques non renouvelables afin d'assurer leurs confort et leurs sécurité, car la zone agressive thermiquement ( $T_a > 34^\circ\text{C}$ ) arrive à 28.4 % dans les logements sociaux et atteint le 17.4 % dans les logements collectifs promotionnels.

#### **5.1.1.4. Comparaison 4**

Par la lecture des résultats obtenus d'après une classification annuelle de la température ambiante de l'air pour les différents logements collectifs sociaux et promotionnels situés au 3<sup>ème</sup> étage dans les différentes orientations étudiées, la figure 5\_4 fait ressortir qu'il existe une légère variation entre les résultats obtenus pour les logements de ces deux types de logements concernant la zone confortable ( $15 < T_a < 30$ ) avec un écart type qui touche seulement le 1.95 % entre eux pour les différentes orientations.

À ce niveau, la valeur 53.27 % a été enregistrée comme étant le pourcentage moyen des heures confortables des logements sociaux avec un écart type très bas qui arrive à 1.68%, la valeur maximale atteint le 75.80 % pour le S2d\_220S orienté vers le sud-ouest, tandis que la valeur 50.9 % représente la valeur minimale pour cette zone a été enregistrée au niveau de S3d\_90S orienté vers le sud-ouest. D'autre part, on observe que 52.2 % moyenne des heures annuelles sont situées dans la zone confortable ( $18 < T_a < 30$ ) dans tous les logements promotionnels. La valeur maximale est de 58% pour le S3d\_50P orienté vers le sud-ouest. Tandis que la valeur minimale est de 49.80 % enregistrée dans le S3d\_110P orienté vers le nord-est et le nord-ouest.

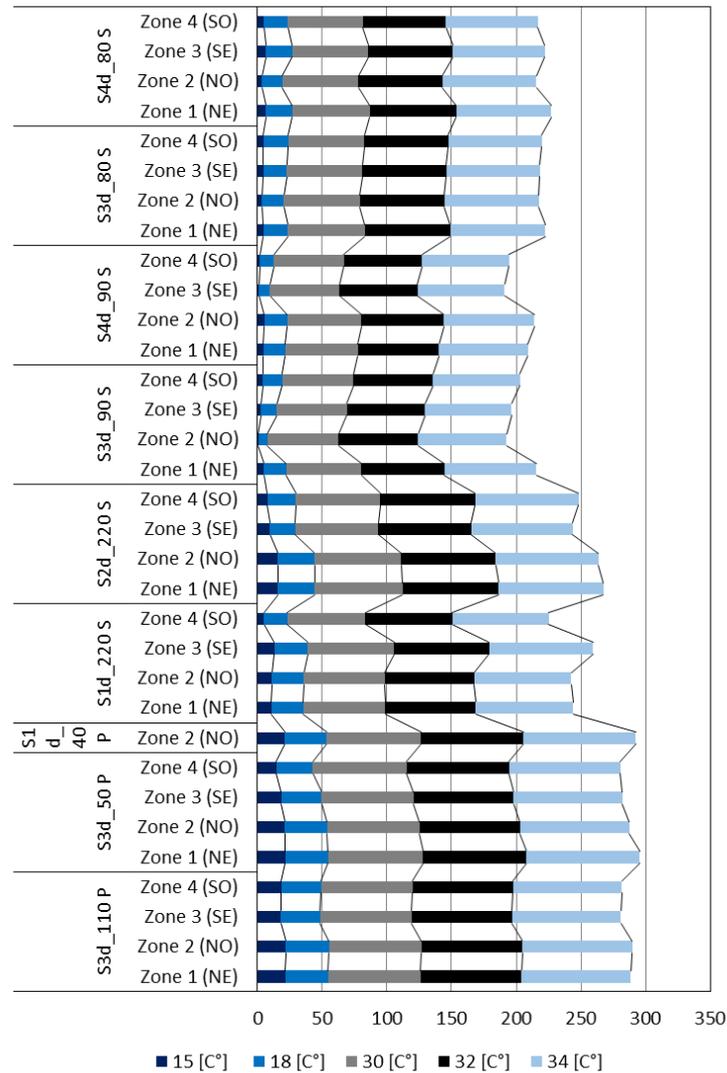


Figure 5–4: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_a$ ) des différents logements de chaque cité située au 3eme étage (Source : Auteur)

Par ailleurs on remarque qu'il y a de légères variations entre les résultats obtenus dans les différents logements étudiés sociaux et promotionnels, concernant la zone inconfortable due au chaud ( $30 < T < 34$ ), avec un écart type très bas qui touche le 0.67 % entre les différentes orientations étudiées. Sachant que la valeur moyenne a été enregistrée dans les logements collectifs sociaux concernant cette zone qui atteint le 13.28 % caractérisé par un écart type qui touche le 0.73 %. Tandis que la valeur moyenne obtenue pour les logements promotionnels atteint le 13.43 % avec un écart type qui touche seulement le 0.46 %.

### 5.1.1.5. Comparaison 5

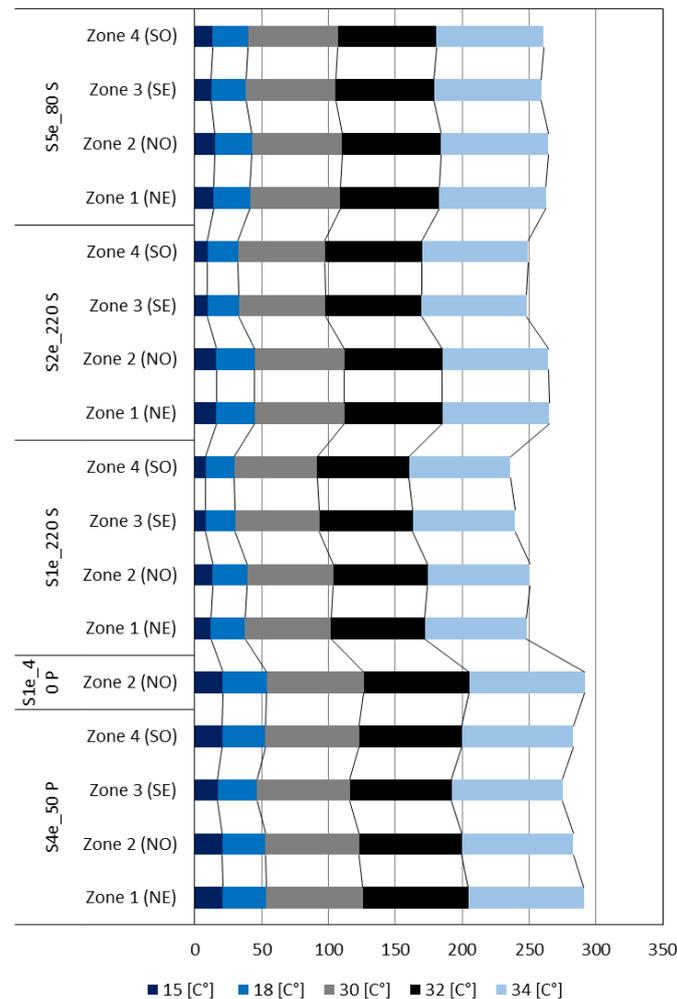


Figure 5–5: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_a$ ) des différents logements de chaque cité située au 4<sup>ème</sup> étage (Source : Auteur)

La figure 4\_5 illustre les valeurs des températures ambiantes des séjours des différents logements étudiés situés au 4<sup>ème</sup> étage. D’après cette figure nous constatons que les résultats obtenus dans cette figure sont toutefois semblables à ce qu’on a vu dans la comparaison précédente, où 53.2 % des heures annuelles sont considérés comme des heures confortables ( $18 < T_a < 30$ ), dans tous les logements collectifs sociaux, avec un écart type de 1.65 %. Les valeurs maximales atteignent le 55.70 % pour le S2e\_220S orientée vers le sud-ouest tandis que les valeurs minimales touchent le 50.9 % pour la même salle de séjour dans l’orientation nord-ouest. Cette figure fait ressortir également que 51.02 % des heures annuelles des logements collectifs promotionnels sont confortables, avec un écart type qui touche le 1.09 % entre les différents séjours étudiés dans les différentes orientations.

À ce niveau, la valeur maximale 52.40 % a été enregistrée pour le S4e\_50P orienté vers le sud-est. Tandis que la valeur minimale 49.9 % a été marquée dans la même salle de séjour orientée vers le sud-ouest. En outre, on observe ainsi que 13.01 % des heures moyennes des logements collectifs sociaux sont situées dans la zone inconfortable due au chaud ( $30 < T_a < 34$ ), et 24.2 % des heures annuelles sont situés dans la zone agressive thermiquement ( $T_a > 34$ ). Alors que 13.48 % des logements promotionnels sont situés dans la zone inconfortable due au chaud ( $30 < T_a < 34$ ), avec un écart type qui touche le 0.46 % et 16.9 % des heures annuelles sont considérées comme de valeurs minimales qui se situe dans la zone agressive thermiquement ( $T_a > 34$ ).

De tout ce qui précède, on peut déduire que l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs de l'habitat social de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ce type de logements, conduisent à une sensation d'inconfort thermique des occupants de ces logements. Et malgré l'amélioration quantitative et qualitative des espaces et des matériaux des logements collectifs promotionnels de la ville de Biskra, les habitants de ces logements ont la même sensation thermique des occupants des logements collectifs sociaux.

## 5.1.2. Température opérative

### 5.1.2.1. Comparaison 1

La figure 5\_6 présente les pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la température opérative des salles de séjour des logements collectifs sociaux et promotionnelle situés au RDC. D'après la lecture des valeurs indiquées dans cette figure nous constatons qu'il existe de légères variations entre les pourcentages des heures confortables ( $20 < T_o < 26$ ) des salles de séjour des deux types d'habitations, où la valeur 22.9 % a été enregistrée dans les logements collectifs sociaux, avec un écart type qui touche seulement le 0.73 %, alors que 21.49 % a été marquée dans les logements promotionnels avec un écart type qui arrive à 1.85 %.

D'autre part, on observe que 36.57 % des heures annuelles des logements collectifs sociaux sont considérées comme des heures inconfortables dues au chaud ( $T_o > 26$ ), tandis que 42.03 % des heures annuelles sont situées dans la même zone pour les logements collectifs

promotionnels. Ces modestes valeurs confirment également l'inefficacité thermique de ces deux types de logement dans les zones à climat chaud et sec comme celui de la ville de Biskra.

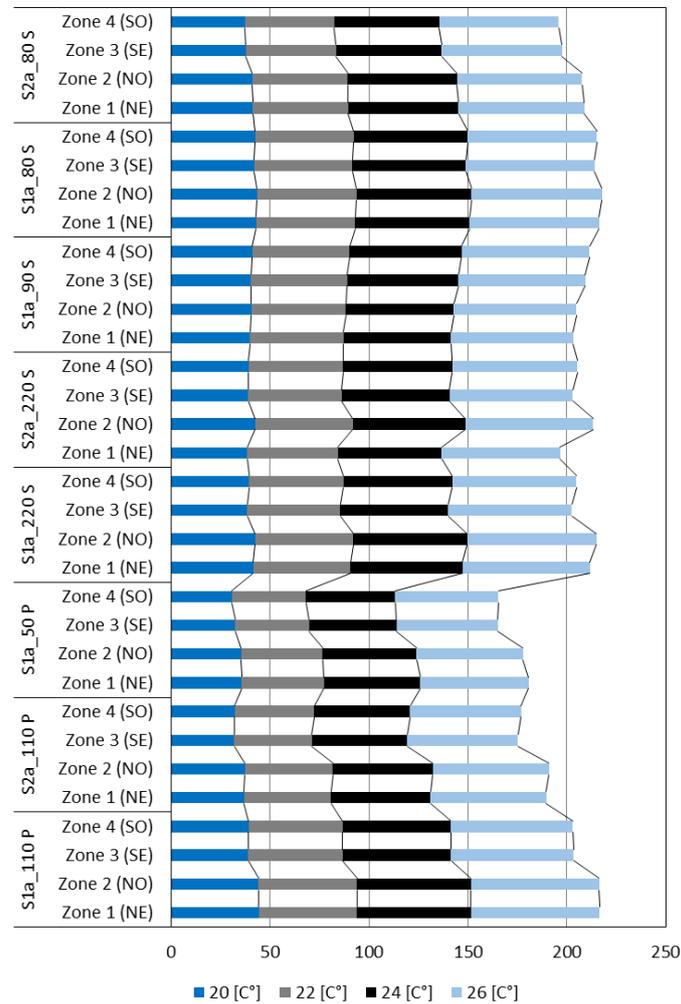


Figure 5–6: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au RDC (Source : Auteur)

### 5.1.2.2. Comparaison 2

La lecture des pourcentages des heures annuelles de la température opérative des salles de séjour situées au 1<sup>er</sup> étage les logements collectifs sociaux et promotionnels présentés dans la figure 5\_7 montre également de légère variation entre les résultats obtenus entre les différentes salles de séjour. Où les pourcentages d'heures annuelles confortables qui ont été enregistrés pour ces deux types d'habitation arrivent à 19.14 % dans les logements sociaux avec un écart type de 1.23 % et touchent seulement le 20.02 % dans les logements collectifs promotionnels, avec un écart type qui atteint le 1.85 % entre les différentes salles

de séjour dans les différentes orientations étudiées, concernant la zone inconfortable due au chaud ( $T_o > 26$ ).

Par ailleurs, cette figure relève que les pourcentages annuels moyens entre les différents logements sociaux et promotionnels varient respectivement entre 31.63 % et 35.90%.

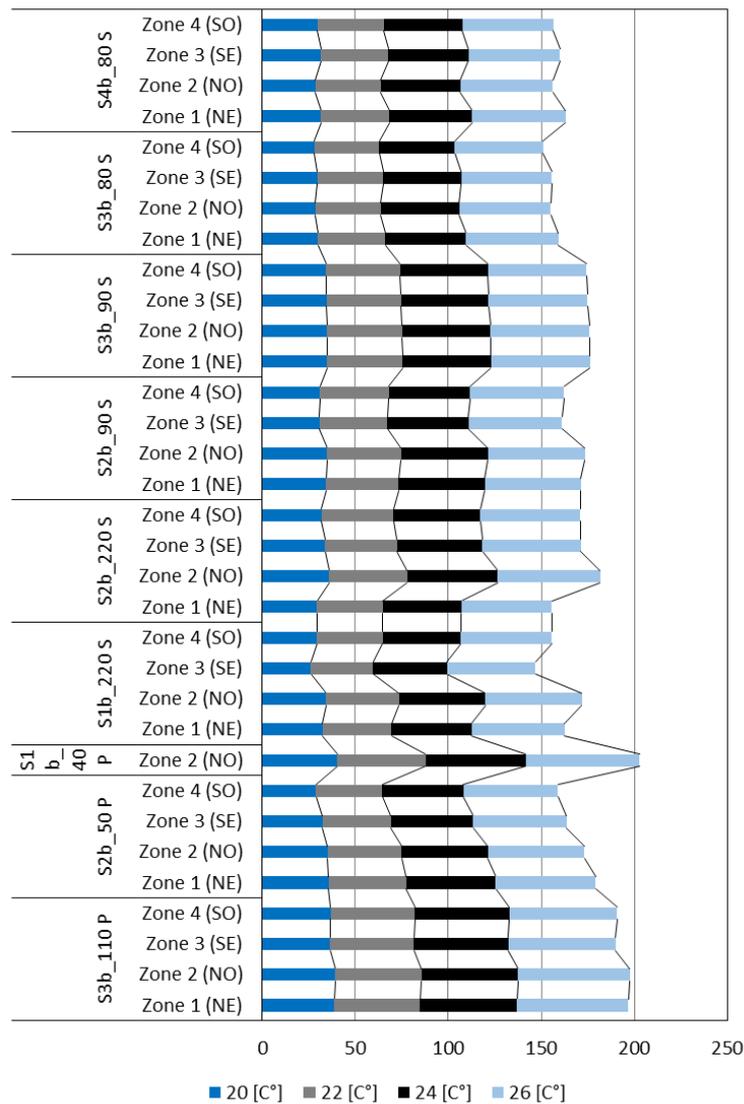


Figure 5–7: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_o$ ) des différents logements de chaque cité située au 1er étage (Source : Auteur)

### 5.1.2.3. Comparaison 3

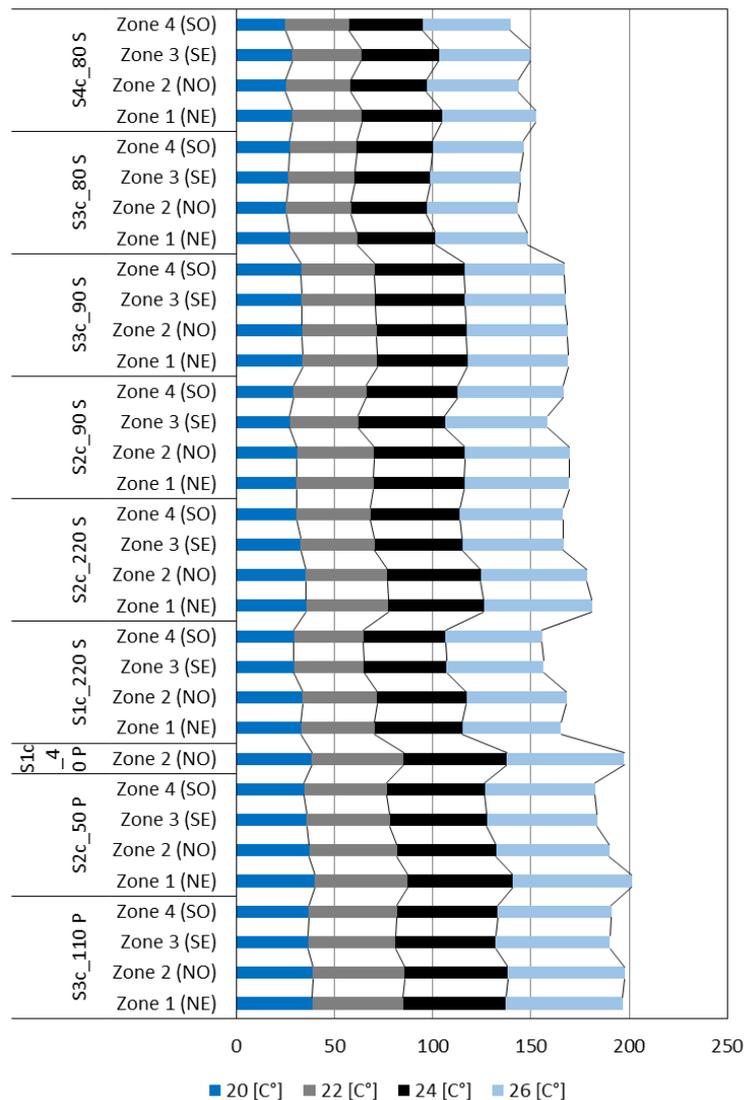


Figure 5–8: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_o$ ) des différents logements de chaque cité située au 2<sup>ème</sup> étage (Source : Auteur)

D'après une classification des pourcentages cumulés des heures de la température opérative dans les différentes salles de séjour des logements collectifs sociaux et promotionnels situés au 2<sup>ème</sup> étage. La figure 5\_8 montre que 19.89 % seulement des heures annuelles sont caractérisées comme des heures confortables, avec un écart type qui touche seulement le 2.21 %. Tandis que 21.12 % des heures annuelles des logements collectifs promotionnels sont des heures confortable thermiquement avec un écart type qui atteint le 0.49 %, où les degrés de la température opérative se situent dans la zone ( $20 < T_o < 26$ ).

D'autre part, cette figure fait ressortir que 49.95 % et 41.49 % des heures annuelles des logements collectifs sociaux et promotionnels respectivement sont des heures inconfortables dues au chaud.

#### 5.1.2.4. Comparaison 4

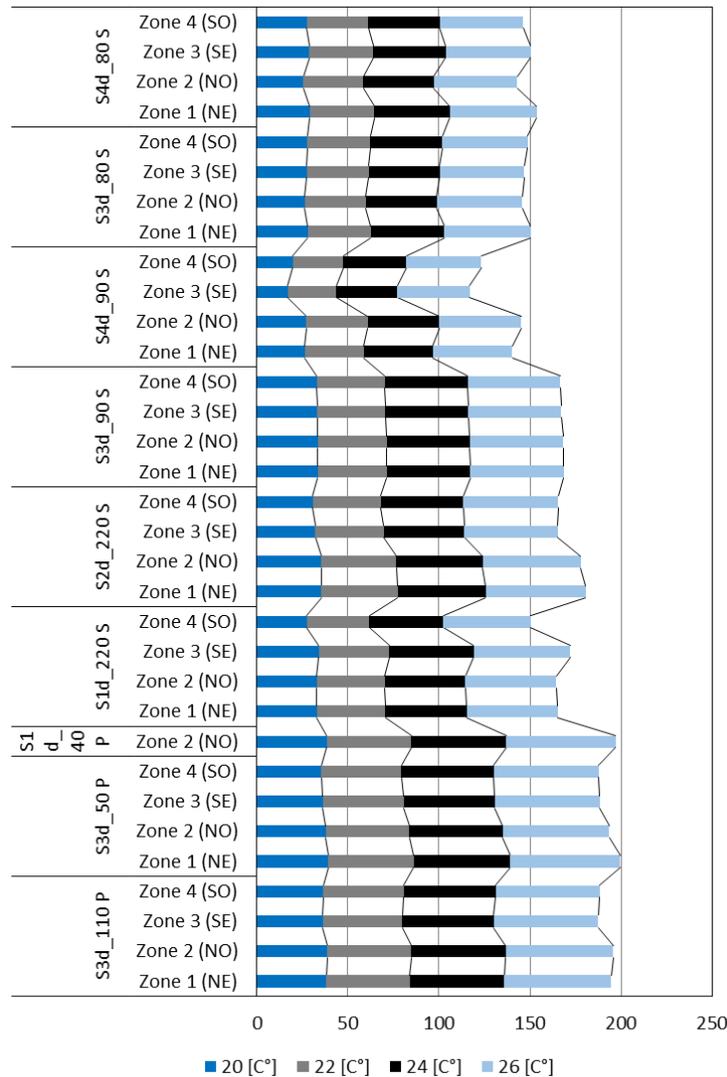


Figure 5–9: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la (To) des différents logements de chaque cité située au 3eme étage (Source : Auteur)

Concernant les logements du 3<sup>eme</sup> étage pour chaque type d'habitation, la figure 5\_9 illustre les pourcentages cumulés dans les salles de séjour dans les différentes orientations étudiées. D'après la lecture de cette figure, nous constatons que 19.03 % avec un écart type de 1.54 % des heures annuelles dans les logements collectifs sociaux sont des heures confortable (20<To<26). Tandis que 41.53 % avec un écart type de 3.79 % sont des heures

inconfortables due au chaud ( $T_o > 26$ ) et 29.33 % avec un écart type de 4.62 % sont considérés comme des heures inconfortables dues au froid ( $T_o < 20$ ).

En outre, cette figure relève également que les résultats obtenus dans les logements promotionnels sont toutefois semblables à ceux que nous avons vus précédemment, où la valeur de 21.06 % a été enregistrée pour la zone confortable ( $20 < T_o < 26$ ), avec l'écart type de 0.56 %. Alors que la valeur 41.53 % avec l'écart type de 1.18 % a été enregistré pour la zone inconfortable due au chaud, et 37.41 % sont considérées comme des heures inconfortables dues au froid pour ce type de logements.

### 5.1.2.5. Comparaison 5

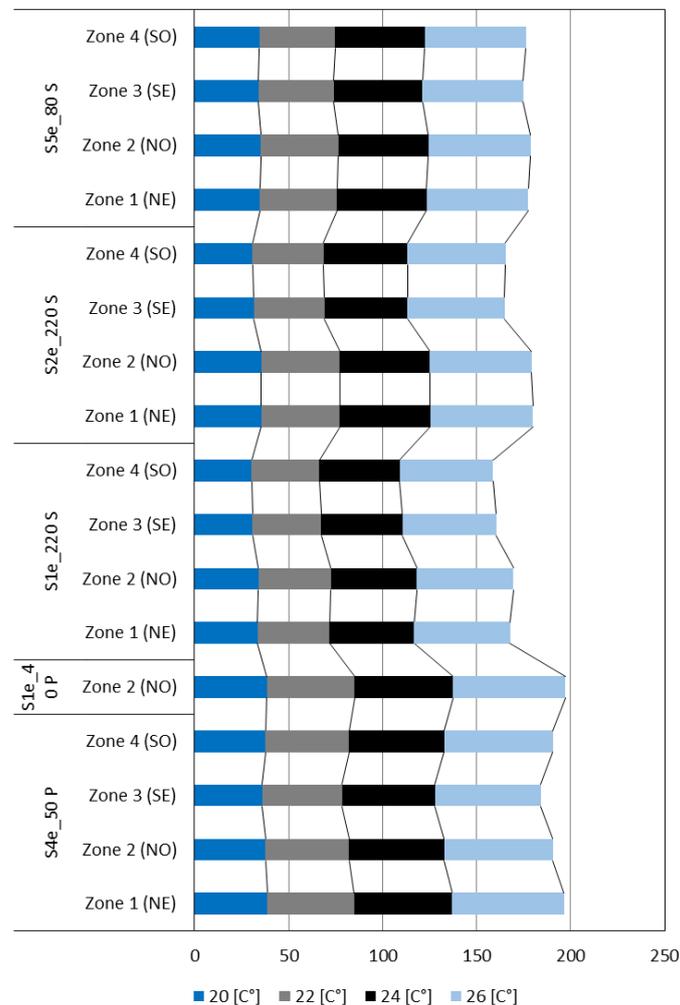


Figure 5–10: Pourcentages cumulés des heures obtenus par une classification de la ( $T_o$ ) des différents logements de chaque cité située au 4eme étage (Source : Auteur)

La figure 5\_10 présente les pourcentages cumulés obtenus pour une classification de la température opérative dans les différents logements situés au 4<sup>ème</sup> étage. D'après cette figure, on observe que les résultats présentés dans cette figure sont semblables à ce que nous avons vu précédemment. Où les heures annuelles situées dans la zone confortable ( $20 < T_o < 26$ ) prennent seulement la valeur de 19.19 % avec un écart type très bas dans les logements sociaux. D'autre part, ils atteignent seulement le 20.42 % avec un écart type qui touche le 1.44% dans les salles de séjour des logements collectifs promotionnels.

D'autre part, cette figure relève également que 47.48 % des heures d'occupation annuelle sont des heures inconfortables dues au chaud ( $T_o > 26$ ) dans les logements collectifs sociaux, avec un écart type qui touche le 1.79 %. Alors que 41.90 % avec un écart type de 1.45 % des heures annuelles des logements collectifs promotionnels sont considérés comme des heures inconfortables dues au chaud.

De ce qui précède, on peut déduire que les résultats obtenus dans cette partie confirment d'une part les résultats obtenus de l'étude de la température ambiante de l'air et confirme les hypothèses indiquées au début de la recherche.

## **5.2. Évaluation du confort lumineux**

### **5.2.1. Éclairage naturel utile (UDI)**

#### **5.2.1.1. Comparaison 1**

La figure 5\_11 présente les valeurs obtenues de l'éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au RDC en fonction de chaque cité. En se basant sur les valeurs de cette de l'UDI indiquée dans cette figure, nous constatons que les heures annuelles confortables des logements collectifs sociaux atteignent le 47.32 % avec un écart type très élevé qui arrive à 39.67 % entre les différentes salles de séjour dans les différentes orientations. À ce sujet, on observe que la valeur maximale atteint le 89.58 %, elle a été enregistrée au niveau de S1a\_90S orientée vers le nord-ouest, tandis que la valeur minimale atteint le 0.00 % dans le même séjour orienté vers les sud-est, dans le S1a\_80S orienté vers le sud-est, et dans le S2a\_80S dans les différentes orientations. Sachant que le pourcentage maximal 99 % a été enregistré pour ce logement au niveau de la zone trop éclairée ( $UDI > 2000$ ).

Cela explique que ces salles de séjour repoudrent l'environnement lumineux trop éclairé qui peut gêner les habitants par l'effet de l'éblouissement.

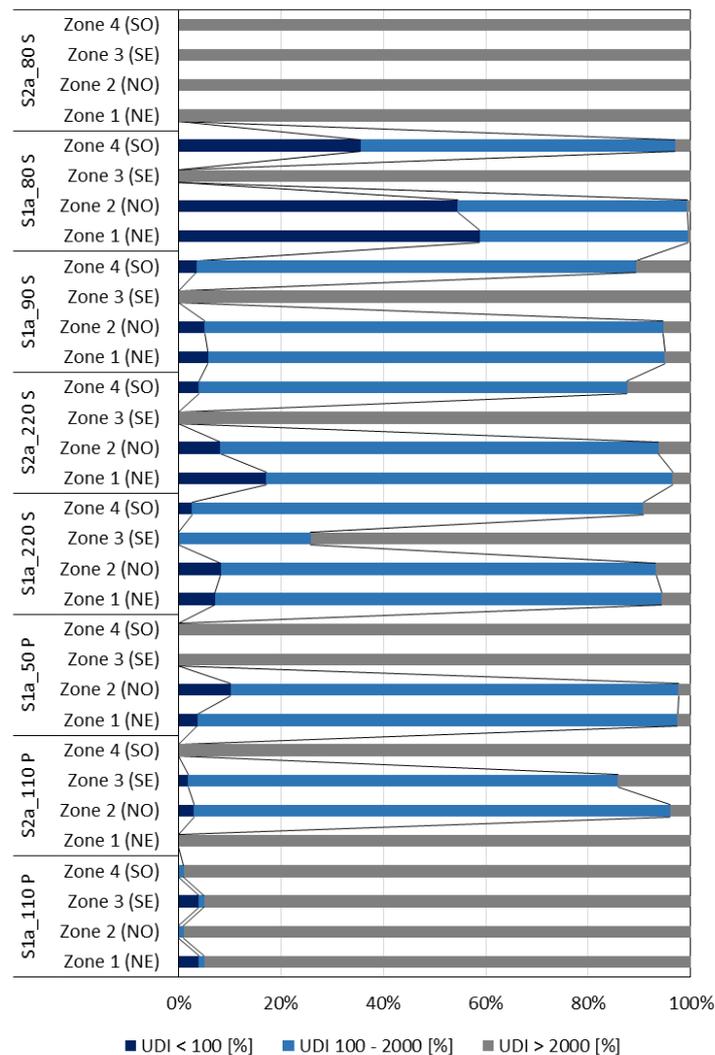


Figure 5–11: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au RDC en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

À la lecture de cette zone inconfortable due à la lumière très élevée (UDI>2000), on observe que 41.82 % des salles de séjour des logements sociaux ont un environnement lumineux très éclairé avec un écart type très élevé qui touche le 39.68 %. D'autre part, on constate que les heures annuelles inconfortables dues à la quantité insuffisante de la lumière naturelle (UDI<100) pour ce type de logement atteint le 10.51 % avec un écart type qui touche le 17.84 % entre les différentes salles de séjour des logements sociaux concernant les différentes orientations étudiées.

Par ailleurs, cette figure illustre également que les pourcentages moyens des heures confortables (utiles) dans les salles de séjour des logements collectifs promotionnels atteignent le 30.18 % entre les différentes orientations, avec un écart type très élevé qui touche le 43.97 % ceci qui explique que les résultats sont divergents au niveau de cette zone. En plus, les valeurs maximales des pourcentages d'heures annuelles pour ce type d'habitation se situent dans la zone inconfortable due à la lumière trop élevée ( $UDI > 2000$ ), ou ces valeurs touchent le 67.27 % entre les différentes salles de séjour dans les différentes orientations étudiées. Par ailleurs, on observe que ces types de logements se caractérisent par 2.23 % des heures annuelles qui sont situent dans la zone inconfortable due à la basse quantité de lumière ( $UDI < 100$ ), avec un écart type très bas qui touche le 3.05 % pour les différents séjours de ce type de logements.

### 5.2.1.2. Comparaison 2

La figure 5\_12 illustre les valeurs obtenues par l'UDI des salles de séjour situées au 1<sup>er</sup> étage en fonction de chaque cité pour les différents types de logements (sociaux et promotionnels). D'après cette figure, nous constatons que 53.32 % des heures annuelles d'occupation dans les logements collectifs sociaux sont situées dans la zone confortable ( $110 < UDI < 2000$ ), avec un écart type qui touche le 42.16 %, tandis que le pourcentage obtenu pour cette zone dans les logements collectifs promotionnels atteint le 39.81 % avec un écart type très élevé qui touche le 31.47 %. D'autre part, on observe que les pourcentages 40.21 % et 34.58 % représentent les heures annuelles qui se situent dans la zone inconfortable due à la lumière très élevée ( $UDI > 2000$ ) concernant respectivement les séjours des logements collectifs sociaux et promotionnels.

Par ailleurs, cette figure fait ressortir que les logements de ces deux types de logement se caractérisent respectivement par des pourcentages de 6.17 % et 25.28 % concernant les heures annuelles inconfortables dues à la faible quantité de lumière du jour ( $UDI < 100$ ).

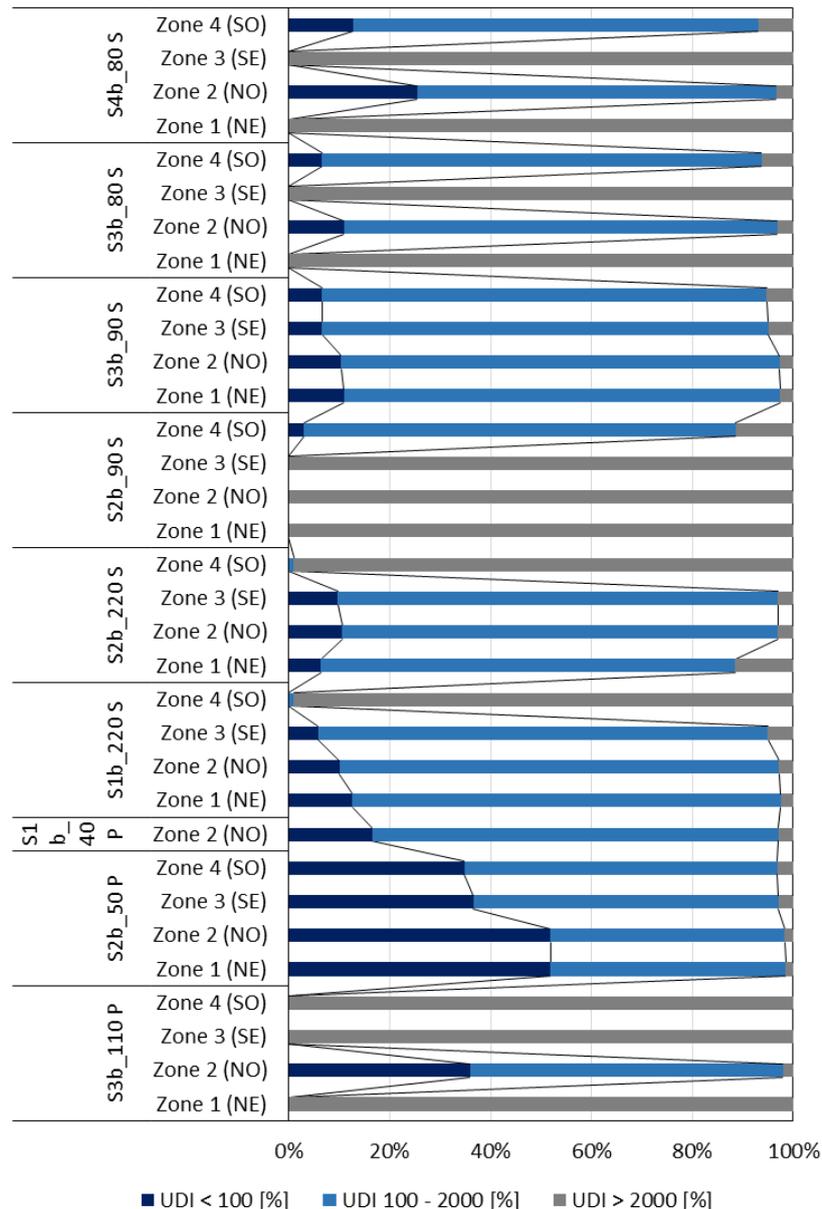


Figure 5–12: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 1er étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

### 5.2.1.3. Comparaison 3

La figure 5\_13, illustre les pourcentages d'UDI dans les salles de séjour des deux types de logements situés au 2<sup>ème</sup> étage. D'après la lecture de cette figure, nous constatons que 64.42 % des heures annuelles sont situées dans la zone utile dite, confortable ( $100 < \text{UDI} < 2000$ ), concernant les logements sociaux situés au 2<sup>ème</sup> étage des cités étudiées dans les différentes orientations. Tandis que la valeur 6.96 % a été enregistrée pour les logements promotionnels avec un écart type qui atteint le 20.75 %. D'autre part, nous

observons que 29.77 % des heures annuelles des salles de séjour des logements promotionnels sont situées dans la zone inconfortable due à la lumière trop élevée, avec un écart type très important qui atteint le 40.52 %. Alors que ce type de logement a enregistré une valeur plus élevée à ce niveau de ce qu'on a vu précédemment, où le pourcentage annuel moyen, concernant cette zone, entre les différentes salles de séjour des logements de ce type est de 88.01 %.

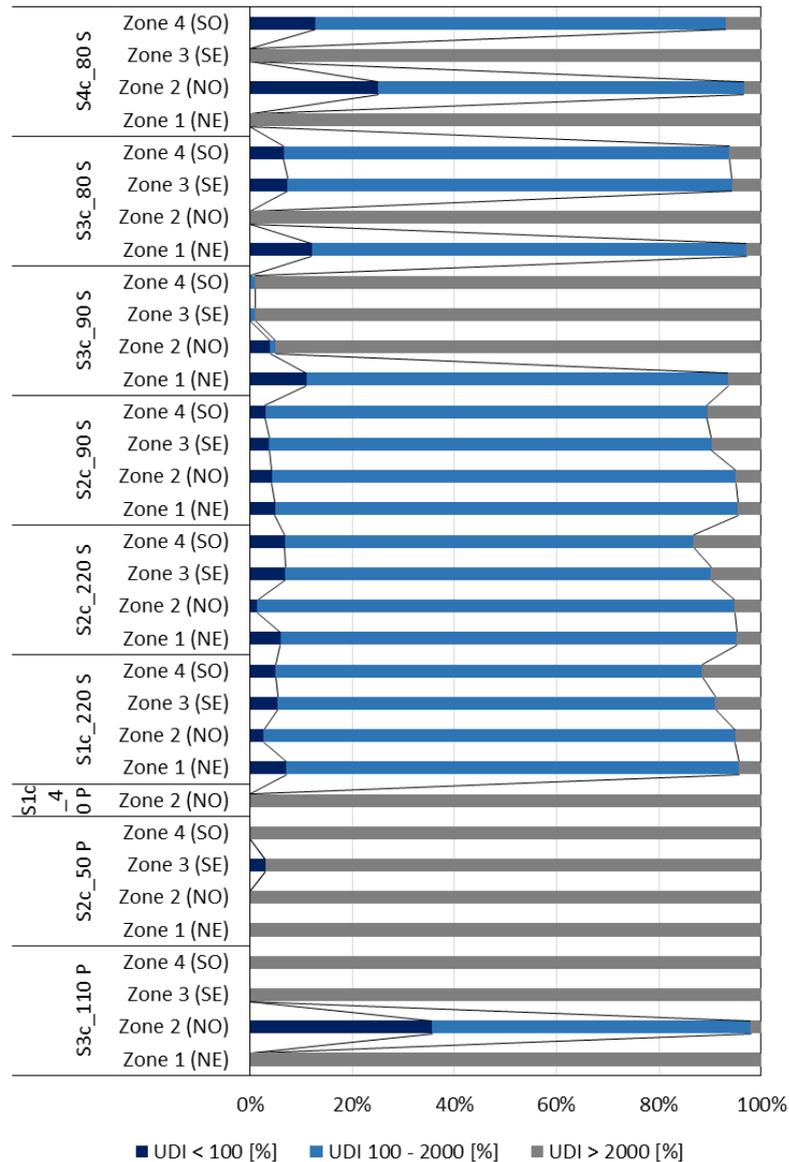


Figure 5–13: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 2eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Par ailleurs, on observe de légères variations entre les valeurs obtenues pour ces deux types de logements, concernant la zone inconfortable due à la quantité insuffisante de la lumière naturelle (UDI<100), d'où le logement social a enregistré la valeur de 5.69 % avec un écart type qui touche le 5.56 %. Tandis que le 4.30 % a été enregistré dans les logements promotionnels.

#### 5.2.1.4. Comparaison 4

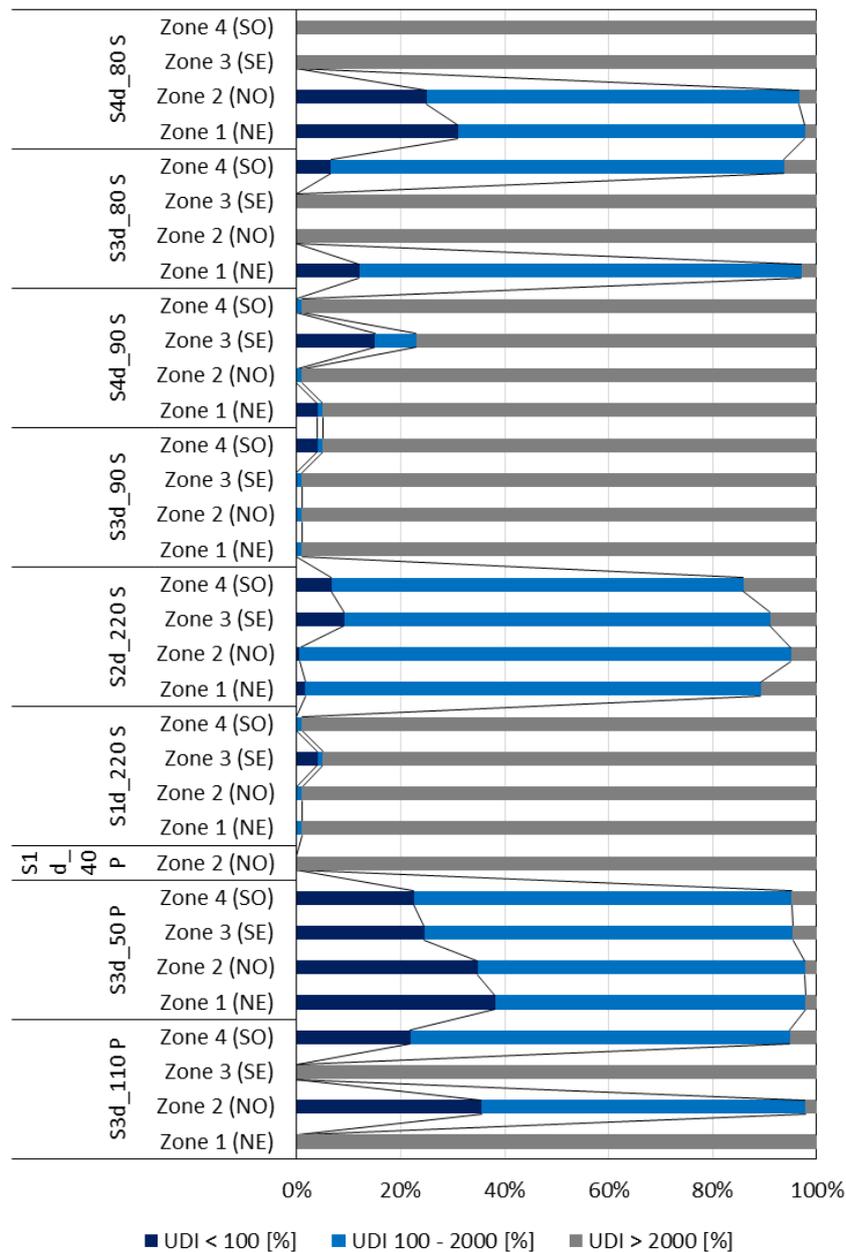


Figure 5–14: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 3eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

La figure 5\_14 présente les valeurs de l'UDI obtenu pour les logements situés au 3<sup>ème</sup> étage dans les deux types de logements sont un peu différent au niveau des heures annuelle confortable ( $100 < \text{UDI} < 2000$ ), où les logements sociaux ont été enregistré à ce niveau une valeur qui touche le 29.22 % avec un écart type qui arrive à 39.58 %. Alors que les valeurs qui ont été enregistrées pour les logements promotionnels atteignent le 44.61 % avec un écart type de 33.78 % dans les différentes orientations.

De même, on observe également des variations notables dans les résultats obtenus entre les salles de séjour des deux types logements, concernant les heures d'occupation inconfortable due à la forte quantité de la lumière naturelle ( $\text{UDI} > 2000$ ), où les valeurs moyennes enregistrées atteignent le 63.02 % et le 35.34 % pour les salles de séjour des logements sociaux et promotionnels, respectivement.

#### **5.2.1.5. Comparaison 5**

La figure 5\_15 illustre des variations notables entre les résultats de l'UDI des différentes salles de séjour des deux types de logements. À la lecture de cette figure, on peut déduire que 39.23 % des heures d'occupation annuelle des logements situées au 4<sup>ème</sup> étage dans les logements sociaux qui se situent dans la zone confortable ( $100 < \text{UDI} < 2000$ ), et 27.39 % des heures dans les logements promotionnels qui se situent au 4<sup>ème</sup> étage sont des heures confortables pour les habitants. Tandis que 51.91 % des heures annuelles sont inconfortables dues au niveau élevé de la lumière du jour pour les habitants des logements sociaux, et 40.55 % des heures annuelles d'occupation dans les logements promotionnels considérés comme des heures inconfortables dues à la quantité trop élevée de la lumière naturelle qui pénètre à l'intérieur ( $\text{UDI} > 2000$ ). D'où nous pouvons conclure que cette situation peut provoquer des risques d'éblouissement aux habitants de ces deux types de logements.

De ce qui précède, nous pouvons au préalable déduire d'après les résultats de simulation que les deux types de logements rendent l'environnement lumineux inconfortable dans la plupart des heures de l'année, cela est dû à la quantité trop élevée de la lumière naturelle. Et afin d'arriver à faire une évaluation globale et complète finale à ce sujet nous avons étudié d'autres indices d'évaluation du confort lumineux qu'on va discuter dans les pages suivantes.

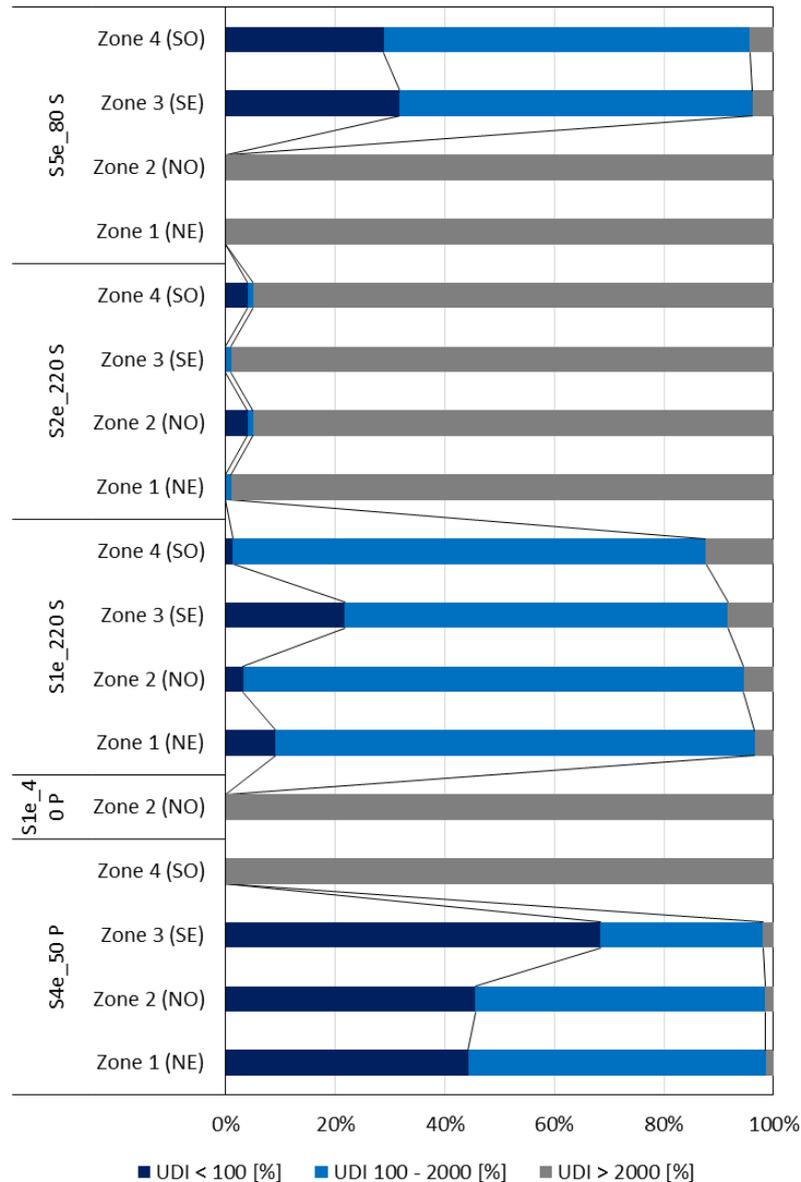


Figure 5–15: Éclairage naturel utile (UDI) des salles de séjour situées au 4eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

## 5.2.2. Autre indices FLJ, DA , DAcon, DSP

### 5.2.2.1. Comparaison 1

La figure 5\_16, présente le diagramme représentatif des caractéristiques lumineuses des salles de séjour des logements sociaux et promotionnels situées au RDC en fonction de chaque projet. Cette figure fait ressortir que les deux types de logements ont une impression de clarté très élevée, où le facteur de la lumière du jour moyenne du logement social touche le 70.33 % et atteint le 67.29 % pour les logements promotionnels concernant toutes les orientations. Cela explique que la quantité de la lumière qui pénètre pendant la majorité des

heures d'occupation est de l'optimal au surexposer concernant les logements de ces deux types d'habitations.

D'autre part, cette figure montre également que 76.49 % avec un pourcentage de saturation qui touche le 7.22 % des heures annuelles d'occupation dans les séjours des logements sociaux et 80.64 % et avec un pourcentage de saturation qui arrive à 17.05 % des heures d'occupation dans les logements promotionnels ce qui permet aux habitants d'exécuter leurs activités ou leurs tâches visuelles sans utilisation de l'éclairage artificiel.

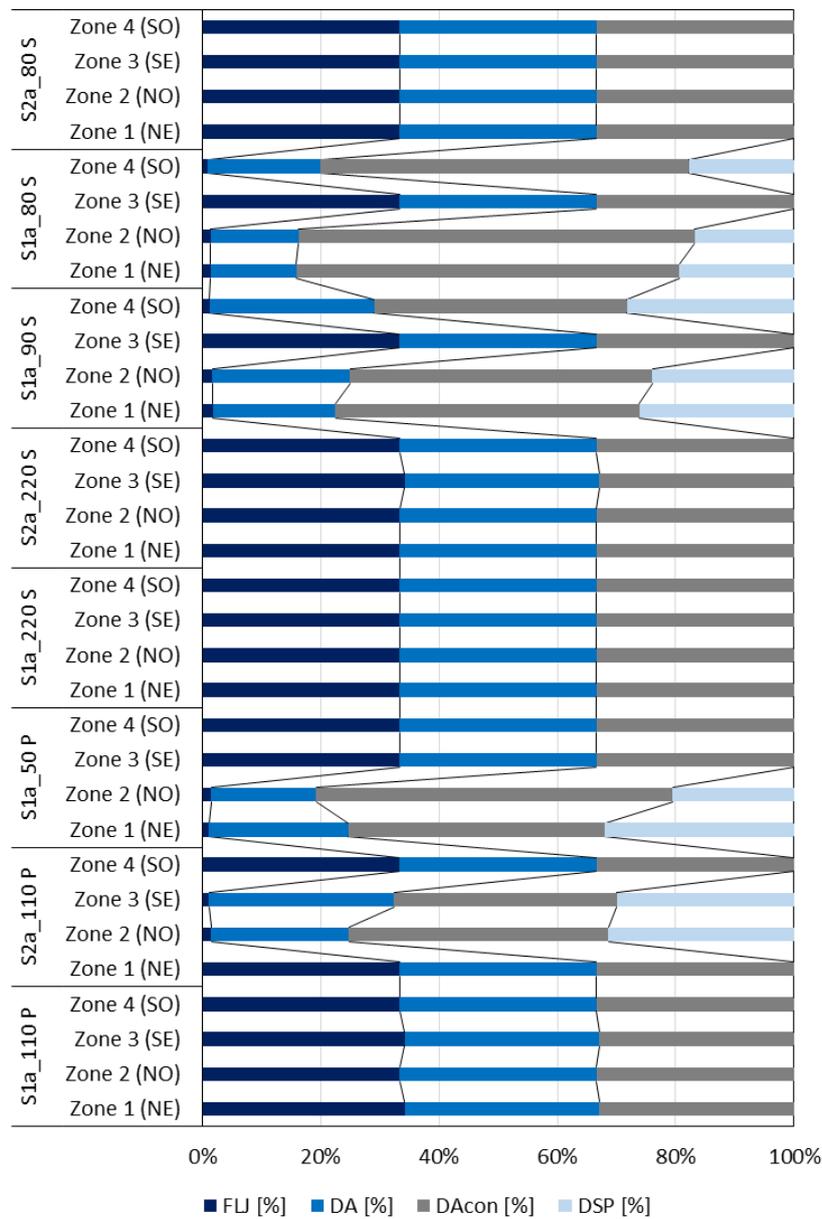


Figure 5–16: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au RDC en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

### 5.2.2.2. Comparaison 2

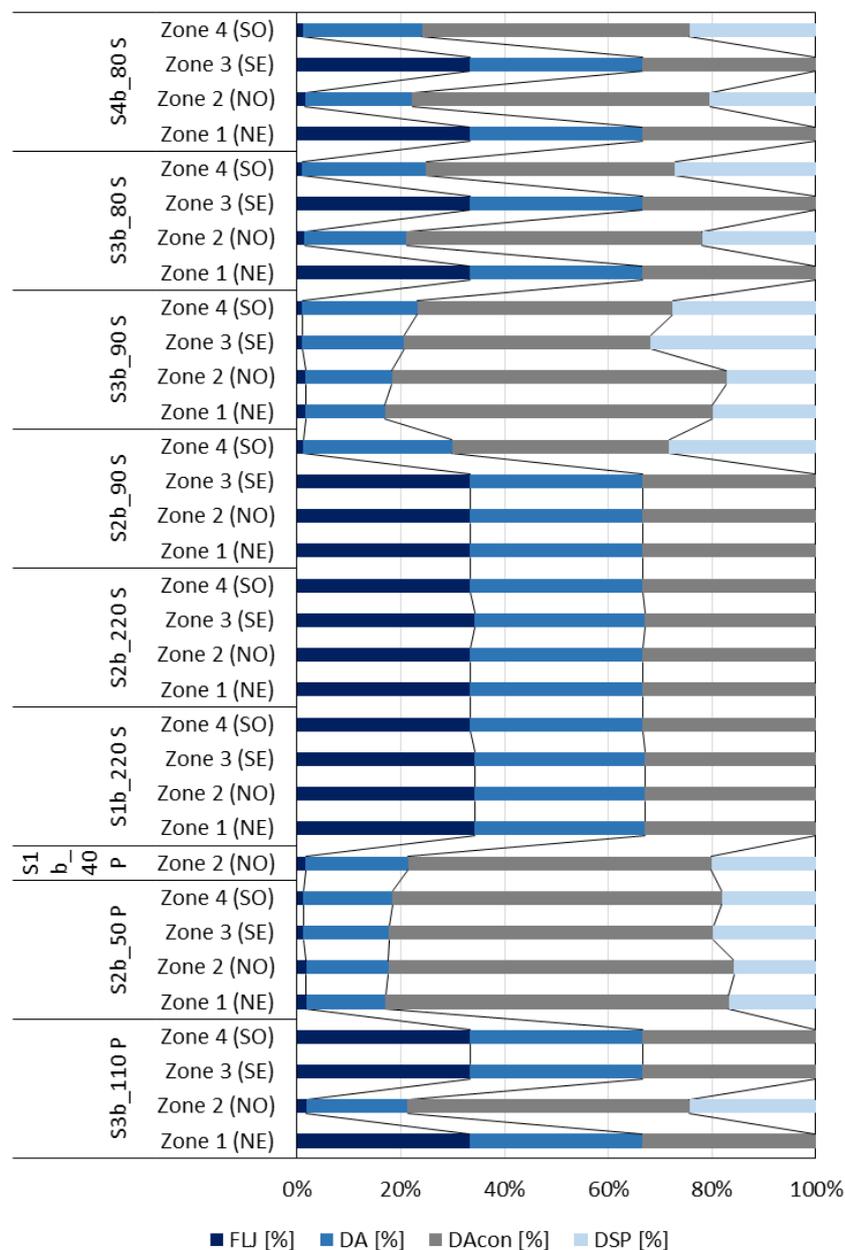


Figure 5–17: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 1er étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

D’après la lecture de la figure 5\_17, nous constatons qu’il existe des variations notables entre les résultats obtenus dans les séjours des logements sociaux et promotionnels. Néanmoins, il est à noter que les séjours des logements sociaux se caractérisent par un environnement lumineux interne du clair au très clair, avec un facteur de lumière du jour très élevé qui touche le 62.98 % entre les différentes orientations étudiées. Tandis que les séjours des logements promotionnels ont une impression de clarté qui varie du claire au très clair,

avec un facteur de lumière du jour moyen qui atteint le 33.94 % concernant toute les orientations. Sachant que le pourcentage de saturation a été enregistré à 11.59 % pour les logements sociaux et arrive à 8.06 % seulement pour les logements promotionnels.

Cette figure illustre également que le pourcentage des heures d'occupation optimale pour achever une activité visuelle normale sans recours à l'éclairage artificiel est de 71.88 % pour les logements sociaux et 40.529 % pour les logements promotionnels.

### 5.2.2.3. Comparaison 3

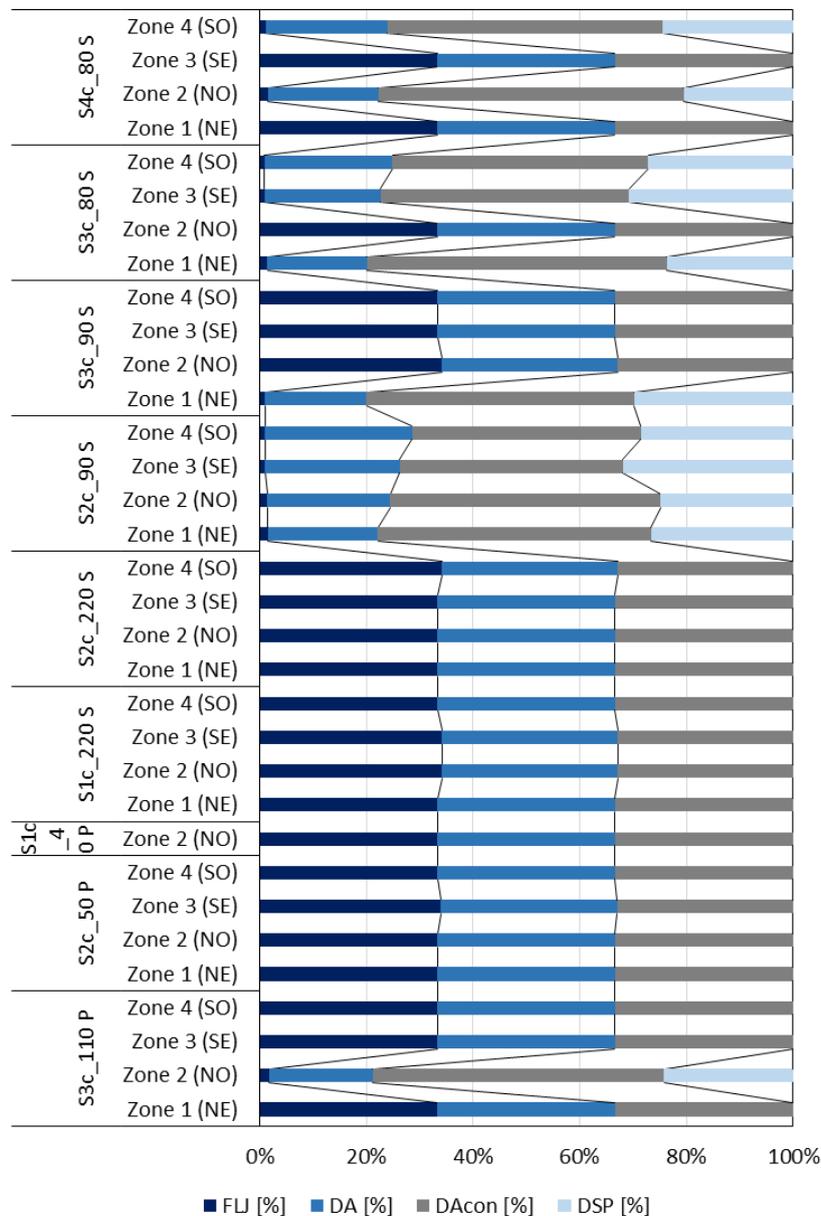


Figure 5–18: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 2eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

Les caractéristiques lumineuses des salles de séjour des logements collectifs sociaux et promotionnels situées au 2<sup>ème</sup> étage sont présentées dans la figure 5\_18. D'après la lecture annuelle des indices d'évaluation de la quantité de la lumière du jour nous constatons que les deux types de logements ont une quantité de lumière optimale ou superposer avec une impression de clarté comprise entre le clair et le très clair, car le facteur de la lumière du jour indiqué dans ces deux logements atteint respectivement le 58.94 % et 88.93 %.

D'autre part, on observe que les logements sociaux ont des pourcentages de saturation de la lumière naturelle qui atteint le 15.71 %, tandis que les salles de séjour des logements promotionnels ont un pourcentage très bas qui touche le 2.12 % avec un écart type qui arrive à 6.34 %. Par ailleurs, cette figure fait ressortir que le pourcentage annuel afin d'achever une tâche visuelle normale sans l'utilisation de l'éclairage électrique est très élevé pour les salles de séjours des logements de ces deux types d'habitation. Où l'autonomie de la lumière du jour des logements sociaux arrive à 70.71 % entre les différentes orientations, tandis que la valeur 90.26 % a été enregistrée pour les logements promotionnels

#### **5.2.2.4. Comparaison 4**

La figure 5\_19 révèle les caractéristiques lumineuses des logements collectifs sociaux et promotionnels situées au 3<sup>ème</sup> étage pour chaque projet. D'après la lecture de cette figure, nous constatons que les résultats obtenus sont un peu divergents entre les deux types de logements. Cependant, ils ont la même interprétation, d'où le facteur de la lumière de jour est situé à 83.46 % avec un pourcentage de saturation qui arrive à 3.97 % pour les logements sociaux, et atteint le 34.11 % avec un pourcentage de saturation qui touche le 14.10 % pour les logements promotionnels. Cela explique que l'impression de clarté des deux types de logements varie entre le niveau clair et le niveau très clair.

Par ailleurs, d'après la lecture des valeurs obtenues par la lecture des résultats de l'autonomie de lumière du jour, nous observons que les salles de séjour des logements sociaux sont caractérisées par un pourcentage annuel optimal afin d'achever une tâche visuelle par l'utilisation de la lumière naturelle sans faire recours à l'éclairage artificiel est plus élevé que le pourcentage moyen obtenu pour les logements promotionnels. Il atteint le 85.02 % pour les logements sociaux et 45.79 % dans les salles de séjour des logements promotionnels.

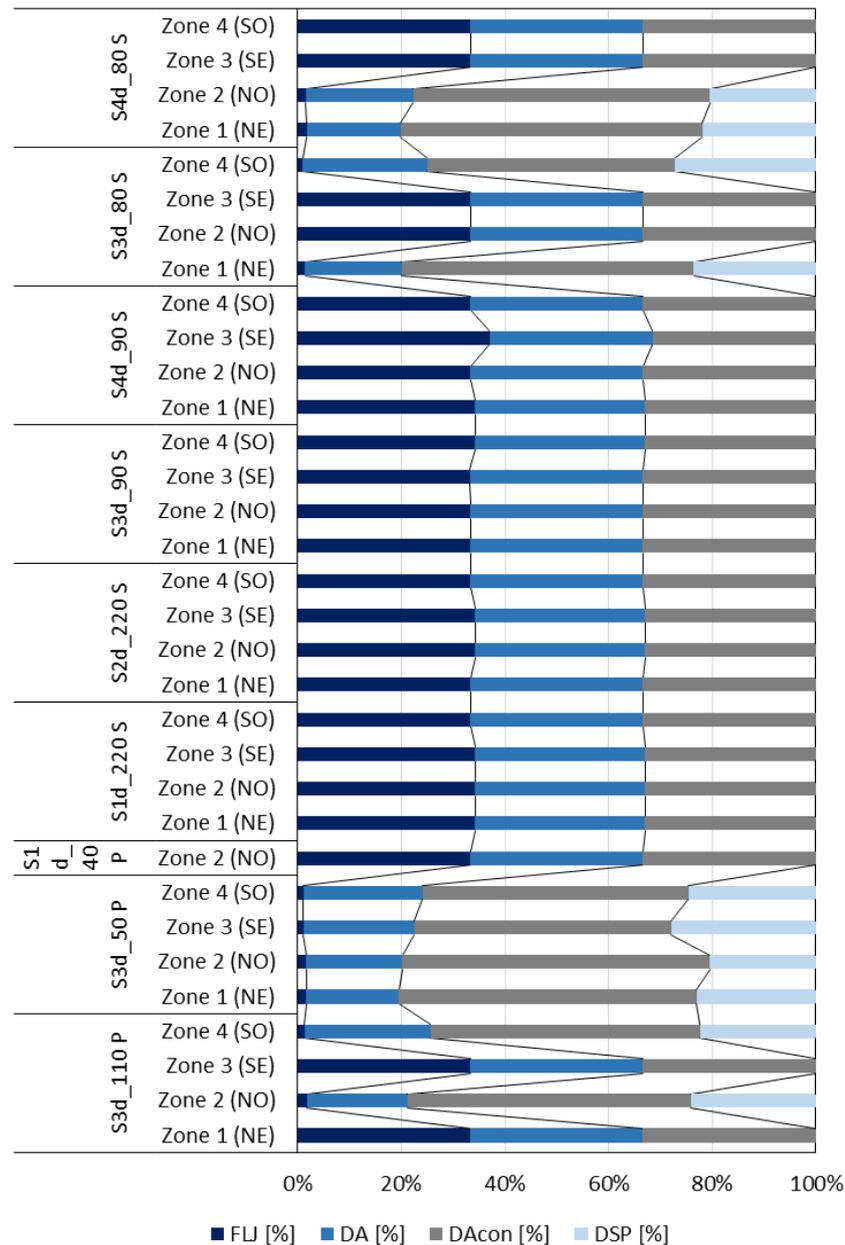


Figure 5–19: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 3eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

### 5.2.2.5. Comparaison 5

La figure 5\_20 présente les caractéristiques lumineuses des salles de séjour des logements situés au 4<sup>eme</sup> étage dans les deux types de logements du cas d'étude. À ce titre nous constatons que tous ces logements ont un environnement lumineux intérieur qui se caractérise par une impression de clarté qui varie entre le clair et très le clair, où le facteur de la lumière du jour est enregistré entre les différents logements sociaux à 83.36 % avec un pourcentage de saturation qui touche le 5.79 %.

D'autre part, on observe que 84.55 % des heures d'occupation annuelle ont une quantité de lumière optimale permettant de réaliser des tâches visuelles normales dans les salles de séjour des logements sociaux, tandis que 43.75 % seulement a été enregistré pour les logements promotionnels.

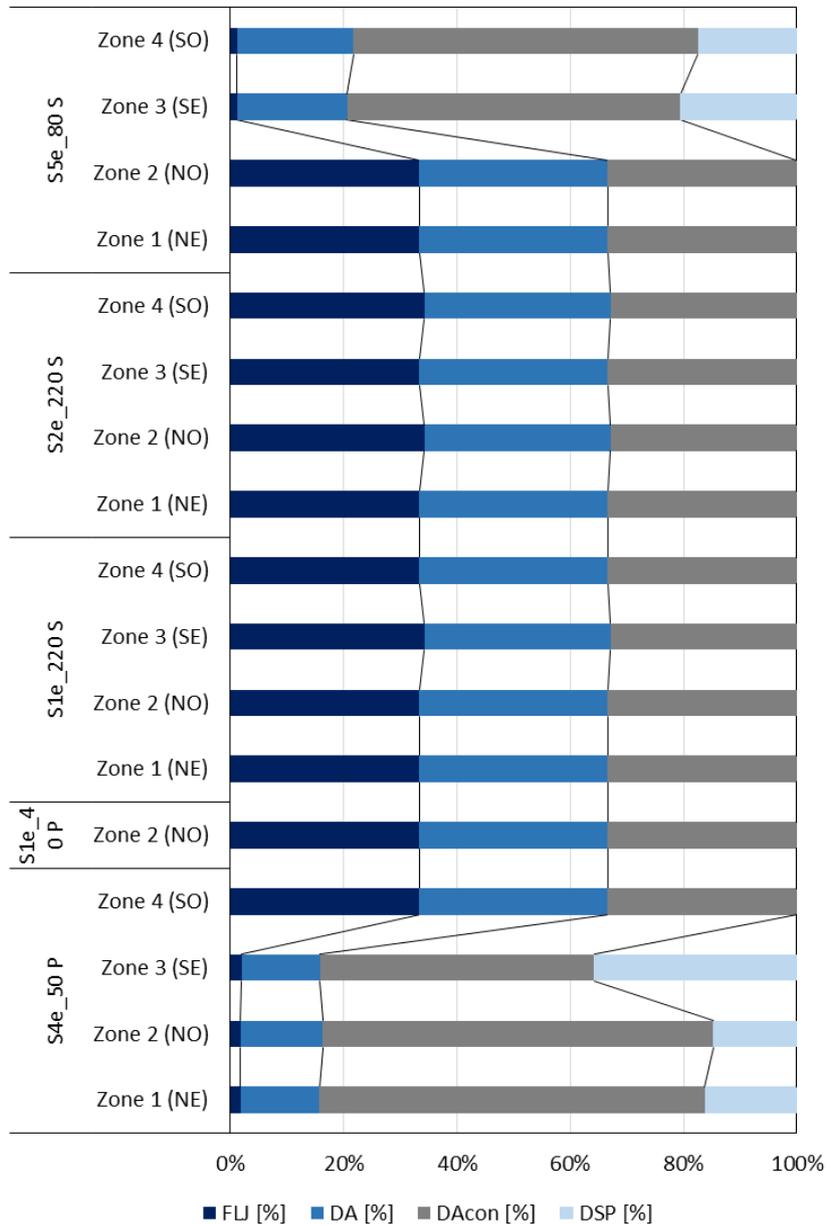


Figure 5–20: Caractéristiques lumineuses des salles de séjour situées au 4eme étage en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

De ce qui précède, nous pouvons affirmer que les résultats obtenus par les indices du facteur de la lumière du jour (DF/FLJ), l'autonomie de la lumière du jour (DA), et l'autonomie continue de la lumière du jour (DA<sub>con</sub>) et par le pourcentage de saturation de la lumière du

jour (DSP) affirment l'efficacité lumineuse des logements collectifs sociaux et promotionnels, où les habitants peuvent se trouver dans un état confortable dans la majorité de la durée d'occupation sans utilisation d'éclairage artificiel.

### 5.3. Validation expérimentale

Dans le but de réaliser une comparaison entre les résultats de l'évaluation objective et subjective du confort thermique et lumineux des logements étudiés afin de valider les résultats globaux, la figure 5\_21 présente les pourcentages moyens obtenus des zones du confort thermique et lumineux objectives et subjectives sachant que :

- CTo: représente la zone du confort thermique selon l'évaluation objective (Ta) ;
- CLo: symbolise la zone du confort lumineux selon l'évaluation objective (DA) ;
- CTs: représente la zone du confort thermique selon l'évaluation subjective;
- CLs: représente la zone du confort lumineux selon l'évaluation subjective.

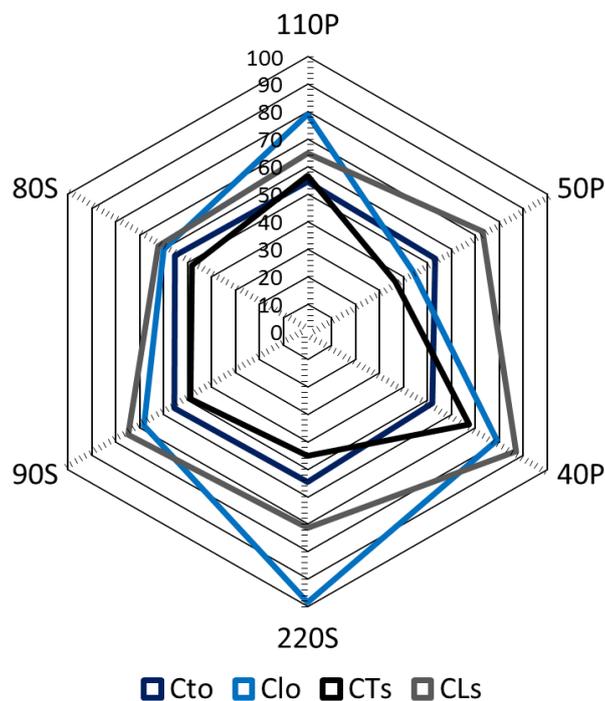


Figure 5–21: Variations des zones du confort thermique et lumineux d'après l'évaluation objective et subjective en fonction de chaque cité (Source : Auteur)

D'après la lecture des valeurs obtenues dans cette figure, nous constatons qu'il existe de légères variations entre les pourcentages de la zone du confort thermique signalés d'après l'évaluation objective et subjective, où la zone confortable ( $18 < T_a < 30$ ) atteint le 54.23 % entre les différents types des logements sociaux et promotionnels avec un écart type qui touche le 1.35 %. De même, nous avons trouvé que 50.49 % des habitants étaient dans un état confortable. À ce niveau, l'écart type entre les résultats objectifs et subjectifs de la zone du confort thermique touche seulement le 7.43 %.

D'autre part, cette figure fait ressortir également que la valeur moyenne de la zone du confort lumineux obtenu entre les résultats de l'évaluation objective et subjective atteint le 71.83 % entre les différents logements étudiés sociaux et promotionnels. Par ailleurs, elle montre ainsi que les valeurs obtenues par l'évaluation objectif son très proche a ce de l'évaluation subjective. Sachant que les valeurs moyennes obtenues de cette zone d'après l'évaluation objective touchent le 71.44 % entre les différents logements et arrive à 72.22 % d'après la méthode d'évaluation subjective.

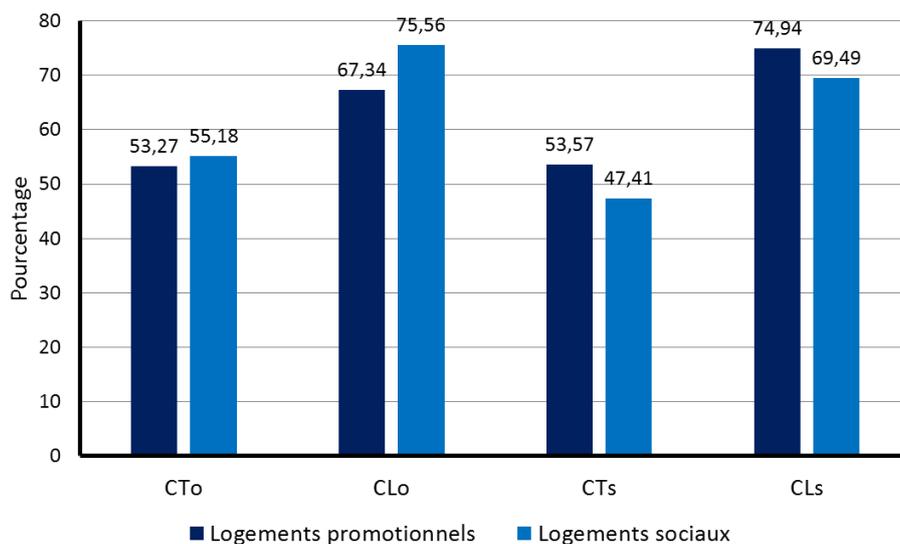


Figure 5–22: Variations des zones du confort thermique et lumineux d'après l'évaluation objective et subjective en fonction de chaque type de logement (Source : Auteur)

Par ailleurs, nous constatons également que les valeurs obtenues à partir de l'évaluation objective sont toutefois semblables à ceux de l'évaluation subjective en ce qui concerne la zone du confort lumineux. Où, la zone confortable atteint respectivement le 67.34

% et le 75.56 % entre les logements collectifs promotionnels et sociaux, d'après une évaluation objective du confort lumineux. Tandis que cette zone atteint le 74.94 % dans les logements promotionnels et le 69.49 % dans les logements sociaux à partir l'évaluation subjective.

Finalement, et d'après les comparaisons multilatérales et l'interaction des variables de deux méthodes d'évaluations objectives et subjectives, concernant le confort thermique et lumineux nous pouvons affirmer que les résultats de chaque méthode se confirment entre elles.

## **Conclusion**

Les simulations numériques des indices d'évaluation du confort thermique nous ont permis d'affirmer que l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs de l'habitat social de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans les logements sociaux conduisent à une sensation d'inconfort thermique des occupants de ces logements. Ainsi que malgré l'amélioration quantitative et qualitative des espaces et des matériaux des logements collectifs promotionnels de la ville de Biskra, les habitants de ces logements ont presque la même sensation thermique.

Par ailleurs, l'utilisation des plusieurs indices appropriés d'évaluation du confort lumineux nous a permis de conclure que les deux types de logements du cas d'étude sont efficaces en ce qui concerne le côté lumineux et qu'ils assurent un niveau optimal de confort lumineux aux habitants presque tout au long de l'année.

## **Conclusion générale**

# Conclusion générale et perspectives de recherche

## Conclusion générale

Ce travail montre que la nouvelle architecture des logements collectifs produite dans le sud de l'Algérie qui suit la tendance des villes du nord est totalement non adaptée à la rudesse des régions sud, où l'enveloppe à doubles parois en briques creuses provoque un environnement thermique interne très sévère dans les logements collectifs promotionnels situés dans ces régions désertiques. C'est un environnement dans lequel il n'est pas possible d'atteindre les conditions du confort et de la santé, ainsi que les occupants peuvent être en danger. En effet, à l'exception de l'utilisation d'appoints mécaniques pour le refroidissement durant la période estivale, il n'existe pas d'autres solutions qui assurent le confort thermique. Cela est dû selon notre avis à l'absence totale des dispositifs architecturaux des espaces baies des logements collectifs sociaux et promotionnels de la ville de Biskra ainsi que la mauvaise intégration des systèmes d'isolation thermique dans ce type de logements, conduisent à une sensation d'inconfort thermique des occupants de ces logements.

Également, la présente recherche illustre que malgré l'amélioration quantitative et qualitative des espaces et des matériaux de construction des logements collectifs promotionnels de la ville de Biskra, les habitants de ces logements ont la même sensation thermique que ceux des logements sociaux.

D'autre part, cette étude illustre que ces logements rendent l'environnement lumineux optimal à l'intérieur de façon que les habitants puissent se trouver en état confortable dans la majorité de la durée d'occupation diurne annuelle, où ils peuvent exécuter leurs tâches visuelles naturellement sans avoir recours à l'éclairage artificiel.

Les résultats de cette thèse, nous ont permis de confirmer que l'évaluation subjective du confort thermique et lumineux est une méthode d'évaluation très performante dans le domaine de l'architecture, à côté de l'utilisation de la simulation informatique qui reste un élément efficace durant toutes les phases de conception afin de rendre l'environnement thermique interne acceptable, notamment dans les milieux résidentiels.

D'autre part, cette recherche a fait ressortir que la température ambiante de l'air a un grand impact sur le niveau du confort thermique optimal des habitants de la ville de Biskra. En outre, cette étude démontre qu'il existe de fortes corrélations entre les températures corporelles des habitants du cas d'étude (température moyenne de la peau, température du noyau et la température du corps), le niveau de la sensation thermique et la température ambiante de l'air de l'espace architectural, notamment dans les milieux résidentiels. Également, cette étude montre que par l'utilisation des équations élaborées, on peut arriver à faire une estimation sur la température moyenne de la peau des habitants de la ville de Biskra (Eq.3\_5 et Eq.3\_9), la température de leur noyau (Eq.3\_6 et Eq.3\_10), la température de leur corps (Eq.3\_7 et Eq.3\_11) et même sur leurs niveaux de sensation (Eq.8, Eq.3\_9, Eq.3\_10 et Eq.3\_11) par rapport à une température ambiante de l'air située dans la zone ( $16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{air}} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ).

### **Perspectives de la recherche**

Malgré l'importance des résultats de la présente recherche, nous sommes conscients qu'elle ouvre d'autres perspectives d'investigations comme à titre d'exemple :

- Recherche de solutions architecturales passives : comme l'utilisation des dispositifs d'ombrages fixes et mobiles et ses relations avec la performance thermique des bâtiments existants
- Étude thermique sur les matériaux de construction de l'enveloppe par intégration et l'élaboration de nouveaux isolants thermiques afin d'adapter les logements à la rudesse du climat des régions du sud de l'Algérie pour atteindre un niveau du confort thermique optimal et minimiser la consommation énergétique.

## **Références bibliographiques**

## Bibliographie

- AFE (1995) Vocabulaire de l'éclairage, Association Française de l'Éclairage. Paris (France): Société d'Éditions Lux. Available at: <http://www.afnor.org>.
- Al-Ajmi, F. F., Loveday, D. L., Bedwell, K. H. and Havenith, G. (2008) 'Thermal insulation and clothing area factors of typical Arabian Gulf clothing ensembles for males and females: measurements using thermal manikins', *Applied ergonomics*. Elsevier, 39(3), pp. 407–414.
- Andersen, M., Gochenour, S. J. and Lockley, S. W. (2013) 'Modelling "non-visual" effects of daylighting in a residential environment', *Building and Environment*, 70, pp. 138–149. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.018.
- Andersen, M., Kleindienst, S., Yi, L., Lee, J., Bodart, M. and Cutler, B. (2008) 'An intuitive daylighting performance analysis and optimization approach', *Building Research & Information*. Taylor & Francis, 36(6), pp. 593–607.
- Anshel, J. (2002) *Visual ergonomics in the workplace*. CRC Press.
- Anshel, J. (2005) *Visual ergonomics handbook*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Anshel, J. (2007) 'Visual ergonomics in the workplace', *Aaohn Journal*. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 55(10), pp. 414–420.
- ASE (1989) *Eclairage intérieur par la lumière du jour*. Zurich (CH): Association Suisse Des Electriciens.
- ASHRAE (2001) *ASHRAE handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers: Atlanta, GA, USA.
- ASHRAE (2005) *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta.
- ASHRAE55 (1992) *ASHRAE STANDARD: An American Standard: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating refrigerationg and air conditioning engineers.
- Attia, S. and Carlucci, S. (2015) 'Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate', *Energy and Buildings*, 102, pp. 117–128. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.017>.
- Auliciems, A. and Szokolay, S. V (1997) 'Thermal comfort', in. PLEA.
- Azizpour, F., Moghimi, S., Salleh, E., Mat, S., Lim, C. H. and Sopian, K. (2013) 'Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC)', *Energy and Buildings*, 64, pp. 317–322. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.033>.
- Babbah, S., Draoui, A., Menezo, C. H., Yezou, R. and Abdelouahab, J. Ben (2005) 'Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc', in *Journées Internationales de Thermique*.

- Basurto, C., Kämpf, J. H. and Scartezzini, J.-L. (2015) 'Annual Performance Assessment of Complex Fenestration Systems in Sunny Climates Using Advanced Computer Simulations', *Journal of Daylighting. SolarLits*, 2(2), pp. 32–43.
- Beckey, T. J. (1992) 'Comfort control system and method factoring mean radiant temperature.' Google Patents.
- Belakehal, A. and Tabet Aoul, K. (1996) 'Shading and shadowing: Concepts for an interactive strategy between solar control and aesthetics in the design of the facade. Reference to arid zones', *Renewable Energy*, 8(1), pp. 323–326. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481\(96\)88870-7](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481(96)88870-7).
- Belakehal, A. and Tabet Aoul, K. (2013) 'L'éclairage naturel dans le bâtiment. Référence aux milieux arides à climat chaud et sec', *Courrier Du Savoir*, 04, pp. 03–13.
- Belding, H. S. and Hatch, T. F. (1955) 'Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains.', *Heating, piping and air conditioning*, 27(8), pp. 129–136.
- Bellia, L., Cesarano, A., Iuliano, G. F. and Spada, G. (2008) 'Daylight glare: a review of discomfort indexes.' Rome (IT): Visual Quality and Energy Efficiency in Indoor Lighting.
- Bellia, L., Cesarano, A. and Spada, G. (2005) 'Application of videophotometer in the evaluation of DGI in scholastic environment', *International Journal on Architectural Science*, 6(2), pp. 82–88.
- Bellia, L., Pedace, A. and Barbato, G. (2014) 'Winter and summer analysis of daylight characteristics in offices', *Building and environment. Elsevier*, 81, pp. 150–161.
- Bellia, L., Pedace, A. and Fragliasso, F. (2015) 'The role of weather data files in Climate-based Daylight Modeling', *Solar Energy. Elsevier*, 112, pp. 169–182.
- Bellia, L., Spada, G., Pedace, A. and Fragliasso, F. (2015) 'Methods to Evaluate Lighting Quality in Educational Environments', *Energy Procedia. Elsevier*, 78, pp. 3138–3143.
- Berghout, B., Forgues, D. and Monfet, D. (2014) 'Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie.' International Building Performance Simulation Association.
- Berkouk, D. (2014) Les fonctions de la fenêtre et leurs impacts sur le confort lumineux dans les régions à climat sec et aride. Mémoire de Master: Université de Biskra.
- Besancenot, J.-P. (1990) 'L'organisme humain face à la chaleur', *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 1(1), pp. 30–35.
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. and Kunert, A. (2010) 'Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale', *Miscellanea Geographica*, 14(2010), pp. 91–102.
- Bos, M. a. and Love, J. a. (2013) 'A field study of thermal comfort with underfloor air distribution', *Building and Environment. Elsevier Ltd*, 69, pp. 233–240. doi: [10.1016/j.buildenv.2013.08.008](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.008).
- Botsford, J. H. (1971) 'A wet globe thermometer for environmental heat measurement', *The American Industrial Hygiene Association Journal. Taylor & Francis*, 32(1), pp. 1–10.

- Boubekri, M., Hull, R. B. and Boyer, L. L. (1991) 'Impact of window size and sunlight penetration on office workers' mood and satisfaction: A novel way of assessing sunlight', *Environment and Behavior*. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, 23(4), pp. 474–493.
- Bouden, C. and Ghrab, N. (2005) 'An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: a field study results', *Energy and Buildings*. Elsevier, 37(9), pp. 952–963.
- Boulfani, W. (2010) *Les ambiances thermiques d'été dans l'habitat de la période coloniale à patio - cas d'étude : maisons à patio (Jijel)*. Université Mohamed Khider-Biskra.
- Boutcher, S. H., Maw, G. J. and Taylor, N. A. (1995) 'Forehead skin temperature and thermal sensation during exercise in cool and thermoneutral environments.', *Aviation, space, and environmental medicine*, 66(11), pp. 1058–1062.
- Boyce, P., Hunter, C. and Howlett, O. (2003) 'The benefits of daylight through windows', Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- Brager, G. and Borgeson, S. (2010) 'Comfort standards and variation in exceedance for mixed-mode buildings.', Center for the Built Environment.
- Brager, G. S. and de Dear, R. (2000) 'A standard for natural ventilation', *ASHRAE journal*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., 42(10), p. 21.
- Brager, G. S. and De Dear, R. J. (1998) 'Thermal adaptation in the built environment: a literature review', *Energy and buildings*. Elsevier, 27(1), pp. 83–96.
- Bref, B. and Annet, G. (2008) *Basics : Baies et fenêtres*. Germany: Birkhauser.
- Budiaková, M. (2017) 'Analysis of Thermal Comfort in Flat in New High Residential Building.', *Applied Mechanics & Materials*, 861.
- Butera, F. M. (1998) 'Chapter 3—Principles of thermal comfort', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2(1), pp. 39–66.
- Cajochen, C., Munch, M., Kobialka, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgul, S. and Wirz-Justice, A. (2005) 'High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light', *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. Endocrine Society, 90(3), pp. 1311–1316.
- Candas, V. (2000) *Confort thermique*. Ed. Techniques Ingénieur.
- Cantin, F. and Dubois, M.-C. (2011) 'Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity', *Lighting Research & Technology*. Sage Publications Sage UK: London, England, 43(3), pp. 291–307.
- Capderou, M. (1986) *Atlas solaire de l'Algérie: aspect géométrique, synthèse géographique*. Office des publications universitaires.
- Carlucci, S. (2013) *Thermal comfort assessment of buildings*. Springer.
- Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F. and Pagliano, L. (2015) 'Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)', *Energy and Buildings*. Elsevier, 104, pp. 378–394.

- Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F. and Pagliano, L. (2015) 'A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 1016–1033. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.062.
- Castilla, del M. M., Álvarez, J. D., Rodríguez, F. and Berenguel, M. (2014) *Comfort control in buildings*. Springer.
- Cellai, G., Carletti, C., Sciurpi, F. and Secchi, S. (2014) 'Transparent building envelope: windows and shading devices typologies for energy efficiency refurbishments', in *Building Refurbishment for Energy Performance*. Springer, pp. 61–118.
- Cena, K. and de Dear, R. (2001) 'Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 26(4), pp. 409–414.
- Charles, K. E. (2003) 'Fanger's thermal comfort and draught models.' Institute for Research in Construction.
- Chauvel, P., Collins, J. B., Dogniaux, R. and Longmore, J. (1982) 'Glare from windows: current views of the problem', *Lighting research and Technology*. SAGE Publications, 14(1), pp. 31–46.
- Cheung, H. (2006) 'Daylighting performance assessment methods for high-rise residential buildings in a dense urban environment.' The Hong Kong Polytechnic University.
- Choi, J.-H., Beltran, L. O. and Kim, H.-S. (2012) 'Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility', *Building and Environment*, 50, pp. 65–75. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.010.
- Chung, T. M. and Tong, W. C. (1990) 'Thermal comfort study of young Chinese people in Hong Kong', *Building and Environment*. Elsevier, 25(4), pp. 317–328.
- CIBSE (2006) 'The Chartered Institution of Building Services Engineers.' London (UK): London.
- CIE (1986) *Guide on interior lighting*, Commission internationale de l'éclairage. Vienna (Austria): Publication CIE № 29.2.
- CIE117 (1995) *Discomfort glare in interior lighting*, Commission internationale de l'éclairage.
- CIE146/147 (2002) *CIE Collection on Glare: CIE 146:2002 CIE Equations for Disability Glare and CIE 147:2002 Glare from Small, Large and Complex Sources*. 2002. Vienna (AT): Commission Internationale de l'Eclairage.
- CIE146-147 (2002) *CIE Collection on glare*, Commission internationale de l'éclairage.
- CIE17 (1987) *International Lighting Vocabulary*. Vienna (Austria): Commission Internationale de l'Eclairage.
- CIE17 (1995) *Discomfort glare in interior lighting*. Vienna (Austria): Commission Internationale de l'Eclairage.
- Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (1987) 'Glossary of terms for thermal physiology', *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*. Springer, 410, pp. 567–587.
- Coulombe, M., Demers, C. M. and Potvin, A. (2010) 'Dynamique des ambiances lumineuses

- par relevés vidéo d'espaces de transition', in. Montrea (Canada): Design & Complexity, Design Research Society, DRS International conference.
- Croitoru, C., Nastase, I., Bode, F., Meslem, A. and Dogeanu, A. (2015) 'Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, pp. 304–318. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.105.
- Dahmani, K. and Moudjari, M. (2013) *Praxis d'habitat social: Revers et couronnements*. 2.04.5370 edn. Alger, Algeria: Office des publications universitaires OPU.
- David, M., Donn, M., Garde, F. and Lenoir, A. (2011) 'Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades', *Building and Environment*, 46(7), pp. 1489–1496. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.01.022.
- Davis, W. and Ohno, Y. (2010) 'Color quality scale', *Optical Engineering*. International Society for Optics and Photonics, 49(3), p. 33602.
- De Dear, R. (1999) 'Adaptive thermal comfort in natural and hybrid ventilation', in *First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum*, p. 1999.
- De Dear, R. (2004) De Dear, RP-884 Project. Available at: [http://aws.mq.edu.au/rp-884/ashrae\\_rp884\\_home.html](http://aws.mq.edu.au/rp-884/ashrae_rp884_home.html) (Accessed: 25 January 2017).
- De Dear, R. and Schiller Brager, G. (2001) 'The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment', *International journal of biometeorology*. Springer, 45(2), pp. 100–108.
- De Dear, R. J. and Brager, G. S. (2002) 'Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55', *Energy and buildings*. Elsevier, 34(6), pp. 549–561.
- De Dear, R. J., Brager, G. S., Reardon, J. and Nicol, F. (1998) 'Developing an adaptive model of thermal comfort and preference/discussion', *ASHRAE transactions*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., 104, p. 145.
- De Dear, R. J. and Leow, K. G. (1990) 'Indoor climate and thermal comfort in high-rise public housing in an equatorial climate: a field-study in Singapore', *Atmospheric Environment*. Part B. Urban Atmosphere. Elsevier, 24(2), pp. 313–320.
- Demers, C. M. (1998) 'Images in the assessment and design of daylighting', in. Montréal (Canada): *Renewable Energy Technologies in Cold Climates Conference '98*, Société d'Énergie Solaire du Canada Inc. (SESCI).
- Demers, C. M. (2007) 'A classification of daylighting qualities based on contrast and brightness analysis', in *Proceedings of the Solar Conference*. American Solar Energy Society; American Institute of Architects, p. 677.
- Demers, C. M. and Potvin, A. (2013) 'On the Art of Daylighting Calculations: LUMcalcul as a prediction tool in the early design stage', in. Munich (Germany): *PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future*.
- DIN5035 (1979) *Innenraumbeleuchtung mit künstlichem licht*. Deutsches Institut für Normung.

- Djongyang, N., Tchinda, R. and Njomo, D. (2010) 'Thermal comfort: A review paper', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), pp. 2626–2640. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>.
- Doherty, T. and Arens, E. A. (1988) 'Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models', *ASHRAE transactions*, 94.
- Dubois, C., Arch, M., Demers, C. and Potvin, A. (2009) 'Daylit Spaces and Comfortable Occupants: A variety of luminous ambiances in support of a diversity of individuals', in. Quebec (Canada): (PLEA) 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture.
- Dubois, C., Demers, C. M. and Potvin, A. (2007) 'The influence of daylighting on occupants: comfort and diversity of luminous ambiances in architecture', in *Proceedings of the Solar Conference*. Cleveland, Ohio (USA): American Solar Energy Society; American Institute of Architects, p. 720.
- Dubois, M.-C. (2001) 'Impact of shading devices on daylight quality in offices', *Simulations with Radiance*.
- Duffy, J. F. and Czeisler, C. A. (2009) 'Effect of light on human circadian physiology', *Sleep medicine clinics*. Elsevier, 4(2), pp. 165–177.
- Dufton, A. F. (1929) 'The eupatheostat', *Journal of scientific instruments*. IOP Publishing, 6(8), p. 249.
- Einhorn, H. D. (1979) 'Discomfort glare: a formula to bridge differences', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 11(2), pp. 90–94.
- Elaiab, F. M. (2014) *Thermal comfort investigation of multi-storey residential buildings in Mediterranean climate with reference to Darnah, Libya*. University of Nottingham.
- Elghawaby, M. M. (2013) *Vers un confort thermique grâce à de nouveaux concepts d'enveloppes de bâtiments, inspirés de la nature: le mur respirant comme un exemple biomimétique approprié aux bâtiments en zones chaudes*. Université Aix-Marseille.
- EN12665 (2011) *Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements*. Brussels (Belgium): European Committee for Standardization.
- EN15251 (2006) 'DS/EN 15251:2007: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics', p. 54. doi: 10.1520/E2019-03R13. Copyright.
- EN15251, C. E. N. S. (2007) 'Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics', *Thermal Environment, Lighting and Acoustics*, AFNOR, Paris, France.
- Epstein, Y. and Moran, D. S. (2006) 'Thermal comfort and the heat stress indices.', *Industrial health*, 44(3), pp. 388–398.
- Errell, E., Kaftan, E. and Garb, Y. (2014) 'Daylighting for visual comfort and energy conservation in offices in sunny regions', in *Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference*, Ahmedabad, India.
- Fabbri, K. (2015) *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on*

- Children. Springer.
- Fanger, P. O. (1967) 'Calculation of thermal comfort, Introduction of a basic comfort equation', ASHRAE transactions, 73(2), pp. III–4.
- Fanger, P. O. (1970) Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press. Available at: <https://books.google.ca/books?id=SOFSAAAAMAAJ>.
- Fanger, P. O. (1973) 'Assessment of man's thermal comfort in practice', British journal of industrial medicine. BMJ Publishing Group Ltd, 30(4), pp. 313–324.
- Fanger, P. O. and Toftum, J. (2002) 'Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates', Energy and buildings. Elsevier, 34(6), pp. 533–536.
- Farley, K. M. J. and Veitch, J. A. (2001) A room with a view: A review of the effects of windows on work and well-being. Edited by N. R. Council and Canada. Citeseer.
- Fernández, F. G. (1994) 'Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos', Serie geográfica, 4, pp. 109–125.
- Fernandez, P. (2012) La perception des environnements lumineux de chambres d'hôtels: Effets de l'éclairage, de l'usage et des caractéristiques individuelles sur le jugement d'appréciation en situation réelle. Université Claude Bernard-Lyon I.
- Fiala, D., Lomas, K. J. and Stohrer, M. (1999) 'A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system', Journal of Applied Physiology. Am Physiological Soc, 87(5), pp. 1957–1972.
- Floru, R. (1996) Eclairage et vision. (INRS) Institut National de Recherche et de Sécurité.
- Flynn, J. E. (1977) 'Study of subjective responses to low energy and non uniform lighting systems', Lighting Design and Application: LD and A, 7, pp. 6 – 15.
- Fontoynt, M., Perraudeau, M. and Avouac, P. (2011) Construire avec la lumière naturelle: concevoir un bâtiment en fonction de la lumière naturelle. CSTB.
- Franzetti, C., Fraise, G. and Achard, G. (2004) 'Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings', Energy and Buildings. Elsevier, 36(2), pp. 117–126.
- Frontczak, M. and Wargocki, P. (2011) 'Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments', Building and Environment, 46(4), pp. 922–937. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.10.021.
- Fuller, F. H. and Brouha, L. (1966) 'New engineering methods for evaluating the job environment', ASHRAE J, 8(1), pp. 39–52.
- Gagge, A. P. (1971) 'An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response', Ashrae Trans., 77, pp. 247–262.
- Gagge, A. P., Fobelets, A. P. and Berglund, L. G. (1986) 'A standard predictive index of human response to the thermal environment', ASHRAE Trans.; (United States), 92:2B.
- Gagge, A. P. and Hardy, J. D. (1967) 'Thermal radiation exchange of the human by partitional calorimetry.', Journal of applied physiology. Am Physiological Soc, 23(2), pp. 248–258.

- Gagge, A. P. and Nishi, Y. (1977) 'Heat Exchange Between Human Skin Surface and Thermal Environment. Compr Physiol 2011, Supplement 26: Handbook of Physiology, Reactions to Environmental Agents: 69-92. First published in print 1977', *Comprehensive Physiology*. Wiley Online Library.
- Galasiu, A. D. and Reinhart, C. F. (2008) 'Current daylighting design practice: a survey', *Building Research & Information*. Taylor & Francis, 36(2), pp. 159–174.
- Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., Reciou, B. and Dokkar, B. (2016) 'Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach', *Energy and Buildings*, 121, pp. 309–317. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.030>.
- Givoni, B. (1962) 'The influence of work and environmental conditions on the physiological responses and thermal equilibrium of man', in *Proceedings of UNESCO Symposium on Environmental Physiology and Psychology in Arid Conditions*, pp. 199–204.
- Givoni, B. (1992) 'Comfort, climate analysis and building design guidelines', *Energy and Buildings*, 18(1), pp. 11–23. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K).
- Givoni, B. and Goldman, R. F. (1972) 'Predicting rectal temperature response to work, environment, and clothing.', *Journal of Applied Physiology. Am Physiological Soc*, 32(6), pp. 812–822.
- Givoni, B. and Goldman, R. F. (1973) 'Predicting heart rate response to work, environment, and clothing.', *Journal of Applied Physiology. Am Physiological Soc*, 34(2), pp. 201–204.
- Goas, L. and Foucal, J. (2013) *Guide des bonnes pratiques. Menuiseries extérieures. Fenêtres, portes-fenêtres, vitrages*. France: Le Moniteur.
- Gonzalez, R. R., Nishi, Y. and Gagge, A. P. (1974) 'Experimental evaluation of standard effective temperature a new biometeorological index of man's thermal discomfort', *International journal of biometeorology*. Springer, 18(1), pp. 1–15.
- Goussous, J., Siam, H. and Alzoubi, H. (2015) 'Prospects of green roof technology for energy and thermal benefits in buildings: Case of Jordan', *Sustainable Cities and Society*, 14, pp. 425–440. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.05.012>.
- Guasch, J., Forster, R., Ramos, F., Hernández, A. and Smith, N. A. (2001) 'Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: Iluminación', *Organización Internacional del Trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Tech. Rep.
- Gugliermetti, F., Passerini, G. and Bisegna, F. (2004) 'Climate models for the assessment of office buildings energy performance', *Building and Environment*. Elsevier, 39(1), pp. 39–50.
- Guide, J. (2002) 'Weather, Solar and Illuminance Data (CDROM)(CIBSE Guide J)', *CIBSE, Chartered Institution of Building Services Engineers*, London, p. 455.
- Guo, X. and Houser, K. W. (2004) 'A review of colour rendering indices and their application to commercial light sources', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 36(3), pp. 183–197.
- Guth, S. K. (1963) 'A method for the evaluation of discomfort glare', *Illuminating Engineering*, 58(5), pp. 351–364.

- Haj Hussein, M. (2012) Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens: la cour: contribution environnementale et socioculturelle. Bordeaux 1.
- Halawa, E. and Van Hoof, J. (2012) 'The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview', *Energy and Buildings*. Elsevier, 51, pp. 101–110.
- Haldane, J. S. (1905) 'The influence of high air temperatures No. 1', *Journal of Hygiene*. Cambridge Univ Press, 5(04), pp. 494–513.
- Haldi, F. and Robinson, D. (2008) 'On the behaviour and adaptation of office occupants', *Building and environment*. Elsevier, 43(12), pp. 2163–2177.
- Hamdi, M., Lachiver, G. and Michaud, F. (1999) 'A new predictive thermal sensation index of human response', *Energy and Buildings*. Elsevier, 29(2), pp. 167–178.
- Han, J., Zhang, G., Zhang, Q., Zhang, J., Liu, J., Tian, L., Zheng, C., Hao, J., Lin, J. and Liu, Y. (2007) 'Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China', *Building and Environment*. Elsevier, 42(12), pp. 4043–4050.
- Hardy, J. D. and DuBois, E. F. (1938) 'The technic of measuring radiation and convection.', *Journal of Nutrition*, 15, pp. 461–475.
- Hardy, J. D. and Stolwijk, J. A. (1966) 'Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients', *Journal of Applied Physiology*. Am Physiological Soc, 21(6), pp. 1799–1806.
- Hashimoto, K., Yano, T. and Nayatani, Y. (2000) 'Proposal of practical method for calculating and indexing feeling of contrast for a light source', *J Illum Eng Inst Japan*, 84(11), pp. 843–850.
- Havenith, G. (2007) 'Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities', *Ergonomics*. Taylor & Francis, 50(10), pp. 1689–1701.
- Havenith, G., Fiala, D., Błazejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamaki, H., Benschabat, Y. and Jendritzky, G. (2012) 'The UTCI-clothing model', *International journal of biometeorology*. Springer, 56(3), pp. 461–470.
- Havenith, G., Holmér, I., den Hartog, E. A. and Parsons, K. C. (1999) 'Clothing evaporative heat resistance—proposal for improved representation in standards and models', *Annals of Occupational Hygiene*. BOHS, 43(5), pp. 339–346.
- Havenith, G., Holmér, I. and Parsons, K. (2002) 'Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production', *Energy and buildings*. Elsevier, 34(6), pp. 581–591.
- Havenith, G., Kuklane, K., Fan, J., Hodder, S. G., Ouzzahra, Y., Lundgren, K., Au, Y. and Loveday, D. L. (2015) 'A database of static clothing thermal insulation and vapor permeability values of non-western ensembles for use in ASHRAE Standard 55, ISO 7730, and ISO 9920 CH-15-018 (RP-1504).' © ASHRAE.
- Havenith, G. and Nilsson, H. O. (2004) 'Correction of clothing insulation for movement and wind effects, a meta-analysis', *European journal of applied physiology*. Springer, 92(6), pp. 636–640.

- Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S. and Sopian, K. (2015) 'The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 42, pp. 323–343.
- Hensen, J. L. M. (1990) 'Literature review on thermal comfort in transient conditions', *Building and Environment*, 25(4), pp. 309–316. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-1323\(90\)90004-B](http://dx.doi.org/10.1016/0360-1323(90)90004-B).
- Hensen, J. L. M. (1991) On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. PhD thesis. Technische Universiteit Eindhoven. Available at: [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/hensen\\_thesis.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/hensen_thesis.pdf).
- De Herde, A. and Liébard, A. (2005) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur. Paris: ISBN 2-913620-37-X.
- Heschong, L. (2002) 'Daylighting and human performance', *ASHRAE journal*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., 44(6), p. 65.
- Hill, L., Barnard, H. and Sequeira, J. H. (1897) 'The effect of venous pressure on the pulse', *The Journal of physiology*. Wiley-Blackwell, 21(2-3), p. 147.
- Hill, L., Griffith, O. W. and Flack, M. (1916) 'The measurement of the rate of heat-loss at body temperature by convection, radiation, and evaporation', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*. JSTOR, 207, pp. 183–220.
- Hirning, M. ., Lim, G. . and Reimann, G. . (2016) 'Discomfort Glare In Energy Efficient Buildings : A Case Study in the Malaysian Context', in *Proceedings of CIE 2016 Lighting Quality and Energy Efficiency*. Melbourne (Australia), pp. 212 – 223.
- Holl, S. (2011) *Color Light Time*. Zurich (Switzerland): Lars Muller Publishers.
- Holm, D. and Engelbrecht, F. A. (2005) 'Practical choice of thermal comfort scale and range in naturally ventilated buildings in South Africa', *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 47(2), pp. 9–14.
- Van Hoof, J. (2008) 'Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?', *Indoor air*. Wiley Online Library, 18(3), pp. 182–201.
- Hoof, J. van and Hensen, J. L. M. (2006) 'Thermal comfort and older adults', *Gerontechnology*, 4(4), pp. 223–228.
- Hopkinson, R. G. (1963) *Architectural Physics: Lighting*. Edited by H. M. S. Office. London: ERIC.
- Hopkinson, R. G., Petherbridge, P. and Longmore, J. (1966) 'Daylight in architecture.' London (UK): London: William Heineman Ltd.
- Höppe, P. (1988) 'Comfort requirements in indoor climate', *Energy and Buildings*. Elsevier, 11(1), pp. 249–257.
- Höppe, P. (1999) 'The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment', *International journal of Biometeorology*. Springer, 43(2), pp. 71–75.
- Höppe, P. (2002) 'Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort', *Energy*

- and Buildings, 34(6), pp. 661–665. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00017-8.
- Houghton, F. C. and Yaglou, C. P. (1923) 'Determining equal comfort lines', J ASHVE, 29, pp. 165–176.
- Huizenga, C., Zhang, H., Arens, E. and Wang, D. (2004) 'Skin and core temperature response to partial-and whole-body heating and cooling', Journal of Thermal Biology. Elsevier, 29(7), pp. 549–558.
- Humphreys, M. (1978) 'Outdoor temperatures and comfort indoors', Batiment International, Building Research and Practice. Taylor & Francis, 6(2), pp. 92–105.
- Humphreys, M. A. (1995) 'Thermal comfort temperatures and the habits of Hobbits', Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century. E & FN Spon, London, pp. 3–13, pp. 3–13.
- Humphreys, M. A. and Hancock, M. (2007) 'Do people like to feel "neutral"?: Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale', Energy and Buildings. Elsevier, 39(7), pp. 867–874.
- Humphreys, M. A. and Nicol, J. F. (1998) 'Understanding the adaptive approach to thermal comfort', ASHRAE transactions. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., 104, p. 991.
- Humphreys, R. M. A. (1994) 'An adaptive approach to the thermal comfort of office workers in North West Pakistan', Renewable Energy, 5(5-8), pp. 985–992. doi: 10.1016/0960-1481(94)90121-X.
- Hunt, D. R. G. (1979) 'The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy', Building and environment. Elsevier, 14(1), pp. 21–33.
- Hviid, C. A., Nielsen, T. R. and Svendsen, S. (2008) 'Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption', Solar Energy. Elsevier, 82(9), pp. 787–798.
- Ibrahim, N. and Zain-Ahmed, A. (2007) 'Daylight availability in an office interior due to various fenestration options', in 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, Crete island, Greece. Citeseer.
- IDAE (2007) Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Spain.
- IES (2012) 'IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Daylight Metrics Committee. Approved Method IES LM-83-12', Illuminating Engineering Society of North America.
- IESNA (2000) 'The lighting handbook. ninth ed. ed. 2000, New York (USA): Illuminating Engineering Society of North America.' Illuminating Engineering Society of North America.
- Imessad, K. and Messaoudène, N. A. (2008) 'Modèle mathématique de prédiction de la sensation thermique et de la réponse physiologique chez l'être humain', Revue des Energies Renouvelables, 11(4), pp. 545–556.
- ISO 7726 (1998) '7726 (1985) Thermal environments-Instruments and methods for measuring physical quantities', International Organization of Standardization, Geneva,

- Switzerland.
- ISO, I. S. O. (1993) 'TR 11079 Evaluation of Cold Environments—Determination of Required Clothing Insulation (IREQ)', International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO7730 (1994) Moderate thermal environments. Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Organisation for Standardisation. Berlin.
- ISO7730 (2005) 'ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria', *Management*, 3, pp. 605–615. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0267726105000503>.
- ISO9920 (1995) Ergonomics of the Thermal Environment: Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble. ISO.
- Izard, J. . and Oliv, G. (1998) 'La notion de "haute qualité environnementale; les implications architecturales d'une nouvelle préoccupation', in *Les cahiers de la recherche architecturale*, 42-43, pp. 139–153.
- Izard, J.-L. and Millet, J.-R. (1993) *Architectures d'été: construire pour le confort d'été*. Edisud.
- Jacquot, C. M. C., Schellen, L., Kingma, B. R., van Baak, M. A. and van Marken Lichtenbelt, W. D. (2014) 'Influence of thermophysiology on thermal behavior: the essentials of categorization', *Physiology & behavior*. Elsevier, 128, pp. 180–187.
- Jang, M. S., Koh, C. D. and Moon, I. S. (2007) 'Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels', *Building and Environment*. Elsevier, 42(1), pp. 55–61.
- Jannot, Y. and Djiako, T. (1994) 'Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale', *International Journal of Refrigeration*, 17(3), pp. 166–173. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007\(94\)90015-9](http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007(94)90015-9).
- Jendritzky, G., Maarouf, A. and Staiger, H. (2001) 'Looking for a universal thermal climate index (UTCI) for outdoor applications', in *Windsor-conference on thermal standards*, pp. 5–8.
- Ji, T., Qian, X., Yuan, M. and Jiang, J. (2016) 'Experimental study of thermal comfort on stab resistant body armor', *SpringerPlus*. Springer, 5(1), p. 1168.
- Judd, D. B. (1967) 'A flattery index for artificial illuminants', *Illuminating Engineering*, 62(10), p. 593.
- Kadri, N. and Mokhtari, A. (2011) 'Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment', *Revue des Energies Renouvelables*, 14(2), pp. 301–311.
- Kalz, D. and Pfafferott, J. (2014) *Thermal comfort and energy-efficient cooling of nonresidential buildings*. Springer Science & Business Media.
- Kántor, N. and Unger, J. (2011) 'The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment—the mean radiant temperature', *Central European Journal of Geosciences*. Springer, 3(1), pp. 90–100.

- Kaplan, S. (1987) 'Aesthetics, affect, and cognition environmental preference from an evolutionary perspective', *Environment and behavior*. Sage Publications, 19(1), pp. 3–32.
- Karole, B. and Demers, C. M. (2010) 'Dynamique forme-lumière: Un processus de création et d'analyse de l'espace architectural par modèles maquettes/images', in. Montreal (Canada): Design & Complexity, Design Research Society, DRS International conference.
- Kellou-Djitli, F. (2013) 'Psychologie de l'espace', *Courrier du Savoir*, 16.
- Kempton, W. and Lutzenhiser, L. (1992) 'Introduction to special issue on social and cultural aspects of cooling', *Energy and Buildings*, 18(3-4), pp. 171–176.
- Kerslake, D. M. (1972) *The stress of hot environments*. CUP Archive.
- Khoukhi, M. and Fezzioui, N. (2012) 'Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of Algeria', *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), p. 5. doi: 10.1186/2251-6832-3-5.
- Kim, G. and Kim, J. T. (2010) 'Luminous impact of balcony floor at atrium spaces with different well geometries', *Building and Environment*. Elsevier, 45(2), pp. 304–310.
- Kim, J. T., Kim, W. and Kim, J. T. (2011) 'The scope of the glare light source of the window with non-uniform luminance distribution', *Indoor and Built Environment*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 20(1), pp. 54–64.
- Köppen, W. and Geiger, R. (1930) *Handbuch der klimatologie*. Gebrüder Borntraeger Berlin, Germany.
- Köster, H. (2013) 'Daylighting controls, performance and global impacts', in *Sustainable Built Environments*. Springer, pp. 112–162.
- Kottas, D. (2013) *Lumière et paysage: création et design*. Barcelone (Espagne): Links.
- Küller, R. and Lindsten, C. (1992) 'Health and behavior of children in classrooms with and without windows', *Journal of Environmental Psychology*. Elsevier, 12(4), pp. 305–317.
- Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Ishii, J., Fukagawa, K., Yamato, Y. and Matsubara, N. (2008) 'Radiative and convective heat transfer coefficients of the human body in natural convection', *Building and Environment*. Elsevier, 43(12), pp. 2142–2153.
- L, S., Loomans, M. G. L. C., de Wit, M. H., Olesen, B. W. and van Marken Lichtenbelt, W. D. (2012) 'The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions--gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling.', *Physiology & behavior*, 107(2), pp. 252–61. doi: 10.1016/j.physbeh.2012.07.008.
- Lam, W. (1972) *Perception and lighting as formgivers for architecture*. New-York (USA): Van Nostrand-Reinhold.
- Lan, L., Lian, Z., Liu, W. and Liu, Y. (2008) 'Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people', *European Journal of Applied Physiology*. Springer, 102(4), pp. 471–480.
- Lau, S. S.-Y., Gou, Z. and Li, F.-M. (2010) 'Users' perceptions of domestic windows in Hong

- Kong: Challenging daylighting-based design regulations', *Journal of Building Appraisal*. Springer, 6(1), pp. 81–93.
- Law, T. (2013) *The future of thermal comfort in an energy-constrained world*. Springer Science & Business Media.
- Leather, P., Pyrgas, M., Beale, D. and Lawrence, C. (1998) 'Windows in the workplace sunlight, view, and occupational stress', *Environment and behavior*. Sage Publications, 30(6), pp. 739–762.
- Lee, D. H. K. (1958) 'Proprioclimates of man and domestic animals', *Climatology, Arid zone research—X*, pp. 102–125.
- Lee, E. S. and Selkowitz, S. E. (2006) 'The New York Times Headquarters daylighting mockup: Monitored performance of the daylighting control system', *Energy and buildings*. Elsevier, 38(7), pp. 914–929.
- Lépine, P., Demers, C. M. and Potvin, A. (2012) 'Environmental Diversity in Architecture Using Photographic and Thermal Imagery for the Dynamic Assessment of Light and Heat', in *Proc., of the 28th Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Perú (Pérou): PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima.
- Li, D. H. . and Lam, J. C. (2000) 'Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications', *Renewable Energy*, 20(4), pp. 389–404. doi: 10.1016/S0960-1481(99)00126-3.
- Li, D. H. W., Cheung, G. H. W. and Lau, C. C. S. (2006) 'A simplified procedure for determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept', *Building and Environment*. Elsevier, 41(5), pp. 578–589.
- Li, D. H. W., Wong, S. L., Tsang, C. L. and Cheung, G. H. W. (2006) 'A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques', *Energy and Buildings*. Elsevier, 38(11), pp. 1343–1348.
- Liang, J. and Du, R. (2005) 'Thermal comfort control based on neural network for HVAC application', in *Control Applications, 2005. CCA 2005. Proceedings of 2005 IEEE Conference on. IEEE*, pp. 819–824.
- Liébard, A. and De Herde, A. (2005) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur. Paris (France): Editions du Moniteur (2006) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le*.
- Lin, Z. and Deng, S. (2008) 'A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics - Developing a thermal comfort model for sleeping environments', *Building and Environment*, 43(1), pp. 70–81. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.11.026.
- Lind, A. R. and Hellon, R. F. (1957) 'Assessment of physiological severity of hot climates', *Journal of applied physiology*. Am Physiological Soc, 11(1), pp. 35–40.
- Van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R. and De Dear, R. J. (2006) 'Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands: A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate',

- Energy and buildings. Elsevier, 38(1), pp. 8–17.
- Liu, H., Tan, Q., Li, B., Tan, M. and Ma, X. (2011) 'Impact of cold indoor thermal environmental conditions on human thermal response', *Journal of Central South University of Technology*. Springer, 18, pp. 1285–1292.
- Liu, J., Yao, R. and McCloy, R. (2012) 'A method to weight three categories of adaptive thermal comfort', *Energy and Buildings*. Elsevier, 47, pp. 312–320.
- Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D., Lockley, S. W. and O'Hagan, J. B. (2014) 'Measuring and using light in the melanopsin age', *Trends in neurosciences*. Elsevier, 37(1), pp. 1–9.
- Macpherson, R. K. (1962) 'The Assessment of the Thermal Environment. A Review', *British Journal of Industrial Medicine*, 19(3), pp. 151–164. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1038191/>.
- Maiti, R. (2014) 'PMV model is insufficient to capture subjective thermal response from Indians', *International Journal of Industrial Ergonomics*. Elsevier Ltd, 44(3), pp. 349–361. doi: 10.1016/j.ergon.2014.01.005.
- Mallick, F. H. (1996) 'Thermal comfort and building design in the tropical climates', *Energy and buildings*. Elsevier, 23(3), pp. 161–167.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A. and García-Cruz, A. (2015) 'Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, pp. 736–755. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.095.
- Mardaljevic, J. (2000) 'Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance', *Lighting Research and Technology*. SAGE Publications, 32(3), pp. 111–118.
- Mardaljevic, J. (2006) 'Examples of climate-based daylight modelling', in CIBSE national conference.
- Mardaljevic, J. (2012) 'Daylight, indoor illumination and human behavior.' Springer Science+ Business Media, LLC, pp. 69–111.
- Mardaljevic, J. (2013) 'Rethinking daylighting and compliance', in. Dublin (IE): SLL/CIBSE International Lighting Conference.
- Mardaljevic, J., Hescong, L. and Lee, E. (2009) 'Daylight metrics and energy savings', *Lighting Research and Technology*. SAGE Publications, 41(3), pp. 261–283.
- McArdle, B., Dunham, W., Holling, H. E., Ladell, W. S. S., Scott, J. W., Thomson, M. L. and Weiner, J. S. (1947) 'The prediction of the physiological effects of warm and hot environments', *Medical Research Council Rep* 47, 391.
- McColl, S. L. and Veitch, J. A. (2001) 'Full-spectrum fluorescent lighting: a review of its effects on physiology and health', *Psychological medicine*. Cambridge Univ Press, 31(06), pp. 949–964.
- McIntyre, D. (1973) 'A guide to thermal comfort', *Applied Ergonomics*. Elsevier, 4(2), pp. 66–72.
- McIntyre, D. A. and Griffiths, I. D. (1975) 'Subjective responses to atmospheric humidity', *Environmental research*. Elsevier, 9(1), pp. 66–75.

- McKarns, J. S. and Brief, R. S. (1966) 'Nomographs Give Refined Estimate of Heat Stress Index.', *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. LWW, 8(10), p. 557.
- Messaoudene, N. A., Imessad, K. and Belhamel, M. (2010) 'Effect of ventilation on thermal comfort measured by DTS-Application to a typical home in Algerian conditions', *Renewable Energy*, 35(3), pp. 629–636. doi: 10.1016/j.renene.2009.08.028.
- Meteonorm7 (no date) Software. Available at: <http://meteonorm.com/> [Accessed October, 2015].
- Meyer, J.-J., Francioli, D. and Rey, P. (1993) Visual discomfort: Evaluation after introducing modulated light equipment. Arnhem (NL): in *Right Light*, 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting.
- Mishra, A. K. and Ramgopal, M. (2013) 'Field studies on human thermal comfort—an overview', *Building and Environment*. Elsevier, 64, pp. 94–106.
- Missenard, A. (1948) 'A thermique des ambiances: équivalences de passage, équivalences de séjours', *Chaleur Indust*, 276, pp. 159–172.
- Moon, P. and Spencer, D. E. (1942) 'Illumination from a non-uniform sky', *Illuminating Engineering*, 37(10), pp. 707–726.
- Moran, D. S., Pandolf, K. B., Shapiro, Y., Heled, Y., Shani, Y., Mathew, W. T. and Gonzalez, R. R. (2001) 'An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT)', *Journal of thermal biology*. Elsevier, 26(4), pp. 427–431.
- Moran, D. S., Shapiro, Y., Epstein, Y., Matthew, W. and Pandolf, K. B. (1998) 'A modified discomfort index (MDI) as an alternative to the wet bulb globe temperature (WBGT)', *Environmental Ergonomics VIII*, Hodgdon JA, Heaney JH, Buono MJ (Eds.), pp. 77–80.
- Moujalled, B. (2007) *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés*. Thèse de doctort: INSA de Lyon.
- Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2005) 'Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 37(1), pp. 41–57.
- Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2006) 'Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors', *Energy and buildings*. Elsevier, 38(7), pp. 905–913.
- Narboni, R. (2006) *Lumière et ambiances: concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville: [analyses d'ambiances lumineuses moyens techniques problématiques de conception démarches environnementales exemples de réalisations]*. Paris (France): Le Moniteur.
- Nazzal, A. A. (2005) 'A new evaluation method for daylight discomfort glare', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), pp. 295–306. doi: 10.1016/j.ergon.2004.08.010.
- Nematchoua, M. K., Tchinda, R. and Orosa, J. A. (2014) 'Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study', *Applied Energy*, 114, pp. 687–699. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.036>.

- Nevins, R. G., Rohles, F. H., Springer, W. and Feyerherm, A. M. (1966) 'A temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons', *ASHRAE transactions*, 72(1), pp. 283–291.
- Newburgh, L. H. (1949) 'Physiology of heat regulation and the science of clothing.', *Physiology of heat regulation and the science of clothing*. WB Saunders Co., Philadelphia and London.
- Nicol, F. (1995) *Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century*. Taylor & Francis.
- Nicol, J. F., Hacker, J., Spires, B. and Davies, H. (2009) 'Suggestion for new approach to overheating diagnostics', *Building Research & Information*. Taylor & Francis, 37(4), pp. 348–357.
- Nicol, J. F. and Humphreys, M. a. (2002) 'Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings', *Energy and Buildings*, 34(6), pp. 563–572. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- Nielsen, R. and Nielsen, B. (1984) 'Influence of skin temperature distribution on thermal sensation in a cool environment', *European Journal of Applied physiology and occupational physiology*. Springer, 53(3), pp. 225–230.
- Nikolopoulou, M. and Steemers, K. (2003) 'Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces', *Energy and Buildings*, 35(1), pp. 95–101. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00084-1.
- Nishi, Y. and Gagge, A. P. (1971) 'Humid operative temperature. A biophysical index of thermal sensation and discomfort.', *Journal de physiologie*, 63(3), p. 365.
- Njomo, D. (2010) 'Thermal comfort: A review paper', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 2626–2640. doi: 10.1016/j.rser.2010.07.040.
- Ochoa, C. E. and Capeluto, I. G. (2006) 'Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates', *Building and Environment*, 41(8), pp. 1128–1135. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.05.001.
- Oki, M. and Onai, T. (1994) 'Simulation of luminous environment in interior with windows by personal-computer', *Computers & industrial engineering*. Elsevier, 27(1-4), pp. 301–304.
- Olbina, S. and Beliveau, Y. (2009) 'Developing a transparent shading device as a daylighting system', *Building Research & Information*. Taylor & Francis, 37(2), pp. 148–163.
- Olesen, B. W. (1982) 'Thermal comfort', *Technical review*. Bryel and Kjaer Denmark, 2, pp. 3–37.
- Olesen, B. W. and Parsons, K. C. (2002) 'Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730', *Energy and Buildings*, 34(6), pp. 537–548. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00004-X.
- Olgay, V. (1963) *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, 1963. Princeton: Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Olgay, V. (1967) 'Bioclimatic orientation method for buildings', *International Journal of*

- Biometeorology. Springer, 11(2), pp. 163–174.
- Oral, G. K., Yener, A. K. and Bayazit, N. T. (2004) 'Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions', *Building and Environment*, 39(3), pp. 281–287. doi: 10.1016/S0360-1323(03)00141-0.
- Orosa, J. A. (2009) 'Research on general thermal comfort models', *European Journal of Scientific Research*, 27(2), pp. 217–227.
- Oseland, N. A. (1995) 'Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes', *Energy and Buildings*. Elsevier, 23(2), pp. 105–115.
- Osterhaus, W. K. E. (2005) 'Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments', *Solar Energy*, 79(2), pp. 140–158. doi: 10.1016/j.solener.2004.11.011.
- Parpairi, K. (2004) *Daylight perception, Environmental diversity in architecture*. Great Britain: Spon Press.
- Parsons, K. C., Havenith, G., Holmer, I., Nilsson, H. and Malchaire, J. (1999) 'The effects of wind and human movement on the heat and vapour transfer properties of clothing', *Annals of Occupational Hygiene*. BOHS, 43(5), pp. 347–352.
- Pepi, W. J. (2000) 'The New Summer Simmer Index', in International audience at the 80th annual meeting of AMS at Long Beach, California, on January.
- Petherbridge, P. and Hopkinson, R. G. (1950) 'Discomfort glare and the lighting of buildings', *Transactions of the Illuminating Engineering Society*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 15(2\_IESTrans), pp. 39–79.
- Pfafferott, J. Ü., Herkel, S., Kalz, D. E. and Zeuschner, A. (2007) 'Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria', *Energy and Buildings*. Elsevier, 39(7), pp. 750–757.
- Plympton, P., Conway, S. and Epstein, K. (2000) 'Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford.' ERIC.
- Pointer, M. R. (1986) 'Measuring colour rendering—a new approach', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 18(4), pp. 175–184.
- Prakash, D. and Ravikumar, P. (2015) 'Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls', *International Journal of Sustainable Built Environment*. The Gulf Organisation for Research and Development, 4(1), pp. 42–57. doi: 10.1016/j.ijbe.2015.02.003.
- Ranasinghe, S. and Mistrick, R. (2003) 'A study of photosensor configuration and performance in a daylighted classroom space', *Journal of the Illuminating Engineering Society*. Taylor & Francis, 32(2), pp. 3–20.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. and Rogers, Z. (2006) 'Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design', *Leukos*. Taylor & Francis, 3(1), pp. 7–31.
- Reinhart, C. F. and Walkenhorst, O. (2001) 'Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds', *Energy and buildings*. Elsevier, 33(7),

- pp. 683–697.
- Reinhart, C. F. and Wienold, J. (2011) 'The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylit spaces', *Building and Environment*, 46(2), pp. 386–396. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.08.001.
- Reinhart, C. and Fitz, A. (2006) 'Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design', *Energy and Buildings*. Elsevier, 38(7), pp. 824–835.
- Rizzo, G., Beccali, M. and Nucara, A. (2004) 'Thermal Comfort', *Encyclopedia of Energy*, 6, pp. 55–64.
- Robinson, D. and Haldi, F. (2008) 'Model to predict overheating risk based on an electrical capacitor analogy', *Energy and Buildings*. Elsevier, 40(7), pp. 1240–1245.
- Robinson, S., Turrell, E. S. and Gerking, S. D. (1945) 'Physiologically Equivalent Condition of Air Temperature and Humidity.', *American Journal of Physiology*, 143(1), pp. 21–32.
- Rockcastle, S., Ámundadóttir, M. L. and Andersen, M. (2016) 'Contrast measures for predicting perceptual effects of daylight in architectural renderings', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, p. 1477153516644292.
- Roditi, D. (2011) *Ventilation et lumière naturelles Roditi*. Eyrolles. Paris (France).
- Rogers, Z. (2006) 'Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool', Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy Corporation: [http://www.archenergy.com/SPOT/SPOT\\_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf](http://www.archenergy.com/SPOT/SPOT_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf).
- Sadafi, N., Salleh, E., Haw, L. C. and Jaafar, Z. (2011) 'Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation', *Energy and Buildings*, 43(4), pp. 887–893. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.009>.
- Sapia, C. (2013) 'Daylighting in buildings: Developments of sunlight addressing by optical fiber', *Solar Energy*. Elsevier, 89, pp. 113–121.
- Savourey, G., Launay, J. C. and Melin, B. (2003) 'Physiopathologie et prévention des troubles liés à l'exposition à la chaleur ou au froid', *Actualité et dossier en santé publique (ADSP)*, pp. 4–9.
- Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., de Wit, M. H., Olesen, B. W. and Lichtenbelt, W. D. V. M. (2012) 'The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions - Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling', *Physiology and Behavior*. Elsevier Inc., 107(2), pp. 252–261. doi: 10.1016/j.physbeh.2012.07.008.
- Schlader, Z. J., Perry, B. G., Jusoh, M. R. C., Hodges, L. D., Stannard, S. R. and Mündel, T. (2013) 'Human temperature regulation when given the opportunity to behave', *European journal of applied physiology*. Springer, 113(5), pp. 1291–1301.
- Schulkin, J. (2003) *Rethinking homeostasis: Allostatic regulation in physiology and pathophysiology*. MIT Press.
- Schweiker, M., Brasche, S., Bischof, W., Hawighorst, M., Voss, K. and Wagner, A. (2012) 'Development and validation of a methodology to challenge the adaptive comfort

- model', *Building and Environment*, 49, pp. 336–347. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.08.002.
- Semahi, S. and Djebri, B. (2013) '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*, 16(3), pp. 551–568.
- Sicurella, F., Evola, G. and Wurtz, E. (2012) 'A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings', *Energy and Buildings*, 47, pp. 402–410. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.12.013.
- Skoog, J., Fransson, N. and Jagemar, L. (2005) 'Thermal environment in Swedish hospitals: summer and winter measurements', *Energy and buildings*. Elsevier, 37(8), pp. 872–877.
- Slater, A. I. and Boyce, P. R. (1990) 'Illuminance uniformity on desks: Where is the limit?', *Lighting research & technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 22(4), pp. 165–174.
- Sriti, L. and Tabet-Aoul, K. (2013) 'Espace vécu, espace perçu, espace exprime les représentations sociales pour explorer le substrat cognitif et perceptuel associé à la maison', *Courrier Du Savoir*, 16, p. 17.
- Standard, A. (2004) 'Standard 55-2004', Thermal environmental conditions for human occupancy, pp. 9–11.
- Stevens, J. C., Marks, L. E. and Simonson, D. C. (1974) 'Regional sensitivity and spatial summation in the warmth sense', *Physiology & Behavior*. Elsevier, 13(6), pp. 825–836.
- Stevens, R. G., Blask, D. E., Brainard, G. C., Hansen, J., Lockley, S. W., Provencio, I., Rea, M. S. and Reinlib, L. (2007) 'Meeting report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases', *Environmental health perspectives*. JSTOR, pp. 1357–1362.
- Stolwijk, J. A. J. and Hardy, J. D. (1977) 'Control of body temperature', *Comprehensive Physiology*. Wiley Online Library.
- Suk, J. Y., Schiler, M. and Kensek, K. (2013) 'Development of new daylight glare analysis methodology using absolute glare factor and relative glare factor', *Energy and Buildings*, 64, pp. 113–122. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.04.020.
- Szokolay, S. V (1986) 'Climate analysis based on the psychrometric chart', *International journal of ambient energy*. Taylor & Francis, 7(4), pp. 171–182.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. and van den Dobbelen, A. (2013) 'A review into thermal comfort in buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, pp. 201–215. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050>.
- Tanabe, S., Kimura, K. and Hara, T. (1987) 'Thermal comfort requirements during the summer season in Japan', *ASHRAE transactions*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 93, pp. 564–577.
- Tennenbaum, J., Sohar, E., Adar, R. and Gilat, T. (1961) 'The Physiological Significance of the Cumulative Discomfort Index (Cum. DI).', *Harefuah*. Jerusalem., 60(10), pp. 315–319.

- Tham, K. W. (1993) 'Conserving energy without sacrificing thermal comfort', *Building and Environment*, 28(3), pp. 287–299. doi: 10.1016/0360-1323(93)90034-Z.
- Thanachareonkit, A., Scartezzini, J.-L. and Andersen, M. (2005) 'Comparing daylighting performance assessment of buildings in scale models and test modules', *Solar Energy*. Elsevier, 79(2), pp. 168–182.
- Thom, E. C. (1959) 'The discomfort index', *Weatherwise*. Taylor & Francis, 12(2), pp. 57–61.
- Thornton, W. A. (1972) 'Color-discrimination index', *JOSA*. Optical Society of America, 62(2), pp. 191–194.
- Thornton, W. A. (1974) 'A validation of the color-preference index', *Journal of the Illuminating Engineering Society*. Taylor & Francis, 4(1), pp. 48–52.
- Tokura, M., Iwata, T. and Shukuya, M. (1996) 'EXPERIMENTAL STUDY ON DISCOMFORT GLARE CAUSED BY WINDOWS PART 3: Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source', *Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)*. Architectural Institute of Japan, 61(489), pp. 17–25.
- Tregenza, P. R. (1980) 'The daylight factor and actual illuminance ratios', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 12(2), pp. 64–68.
- Tzempelikos, A. and Athienitis, A. K. (2007) 'The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand', *Solar Energy*, 81(3), pp. 369–382. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.015>.
- Vecchi, R. De, Lamberts, R. and Candido, C. M. (2017) 'The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil', *Ambiente Construído*. SciELO Brasil, 17(1), pp. 69–81.
- Veitch, J. A. (2001) 'Psychological processes influencing lighting quality', *Journal of the Illuminating Engineering Society*. Taylor & Francis, 30(1), pp. 124–140.
- Vernon, H. M. and Warner, C. G. (1932) 'The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures', *Journal of Hygiene*. Cambridge Univ Press, 32(03), pp. 431–462.
- Veselý, M., Molenaar, P., Vos, M., Li, R. and Zeiler, W. (2017) 'Personalized heating—Comparison of heaters and control modes', *Building and Environment*. Elsevier, 112, pp. 223–232.
- Vogels, I. (2008) 'Atmosphere metrics', in *Probing experience*. Springer, pp. 25–41.
- Volkov, A. a, Sedov, A. V and Chelyshkov, P. D. (2014) 'Modelling the Thermal Comfort of Internal Building Spaces in Social Buildings', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 91(TFoCE), pp. 362–367. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.075.
- Vos, J. J. (2003) 'Reflections on glare', *Lighting Research & Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 35(2), pp. 163–175.
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, T. and Leonhart, R. (2007) 'Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings', *Energy and Buildings*, 39(7), pp. 758–769. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.02.013.

- Waldram, P. J. (1950) 'A measuring diagram for daylight illumination', Batsford, London.
- Wallace, R. F., Kriebel, D., Punnett, L., Wegman, D. H., Wenger, C. B., Gardner, J. W. and Gonzalez, R. R. (2005) 'The effects of continuous hot weather training on risk of exertional heat illness.', *Medicine and science in sports and exercise*, 37(1), pp. 84–90.
- Walsh, J. W. T. (1951) 'The early years of illuminating engineering in Great Britain', *Lighting Research and Technology*. SAGE Publications, 16(3 IEStrans), pp. 49–60.
- Wang, X., Altan, H. and Kang, J. (2015) 'Parametric study on the performance of green residential buildings in China', *Frontiers of Architectural Research*, 4(1), pp. 56–67. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.007>.
- Wei, S., Li, M., Lin, W. and Sun, Y. (2010) 'Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV–PPD method', *Energy and Buildings*. Elsevier, 42(6), pp. 799–806.
- WHO (1999) Basic documents. 42nd edn., WHO Regional Office for Europe. 42nd edn. Geneva (Switzerland).
- Wienold, J. (2007) 'Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis', in *Building Simulation*, pp. 1197–1204.
- Wienold, J. (2009) 'Dynamic daylight glare evaluation', in *Proceedings of Building Simulation*, pp. 944–951.
- Wienold, J. and Christoffersen, J. (2005) 'Towards a new daylight glare rating', *Lux Europa*, Berlin, pp. 157–161.
- Wienold, J. and Christoffersen, J. (2006) 'Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras', *Energy and buildings*. Elsevier, 38(7), pp. 743–757.
- Winslow, C. E. A., Herrington, L. P. and Gagge, A. P. (1937) 'VOL. 120 SEPTEMBER 1, 1937 No. 1 PHYSIOLOGICAL REACTIONS OF THE HUMAN BODY TO VARYING ENVIRONMENTAL TEMPERATURES', *Journal of Physiology*, 120(1).
- Wohlwill, J. F. (1972) Behavioral response and adaption to environmental stimulation. College of Human Development, Pennsylvania State University.
- Wong, L. T., Mui, K. W. and Hui, P. S. (2008) 'A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices', *Building and Environment*. Elsevier, 43(1), pp. 1–6.
- Wu, W. and Ng, E. (2003) 'A review of the development of daylighting in schools', *Lighting Research and Technology*. SAGE Publications, 35(2), pp. 111–124.
- Xu, H. (1983) 'Color-rendering capacity of illumination.', *Journal of the Optical Society of America*, 73(12), p. 1709.
- Xue, P., Mak, C. M. and Cheung, H. D. (2014) 'The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey', *Building and Environment*, 81, pp. 51–59. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.06.011.
- Yaglou, C. P. and Minaed, D. (1957) 'Control of heat casualties at military training centers.', *Arch. Indust. Health*, 16(4), pp. 302–316.

- Yao, J. (2014) 'An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements', *Building and Environment*, 71, pp. 24–32. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.09.011.
- Yao, R., Li, B. and Liu, J. (2009) 'A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)', *Building and Environment*, 44(10), pp. 2089–2096. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.014>.

## **Annexes**





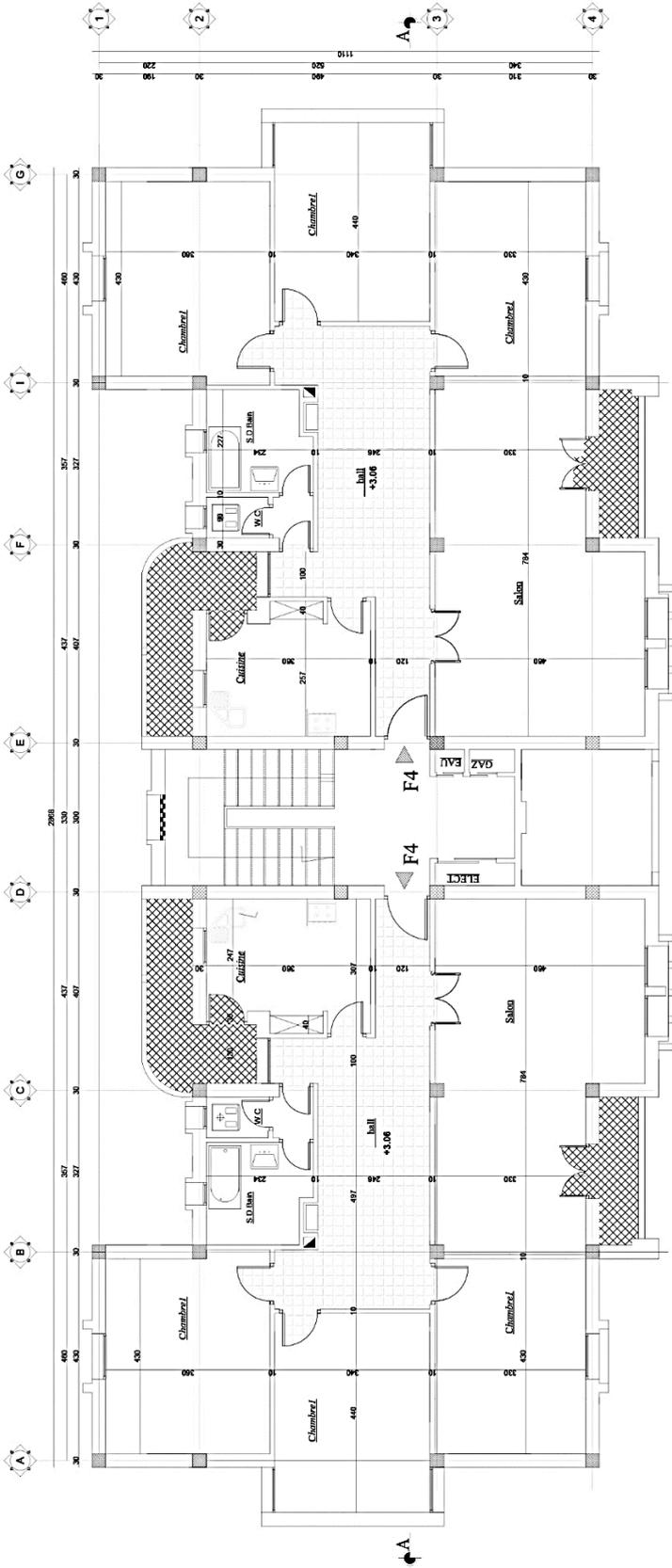
Façade avant



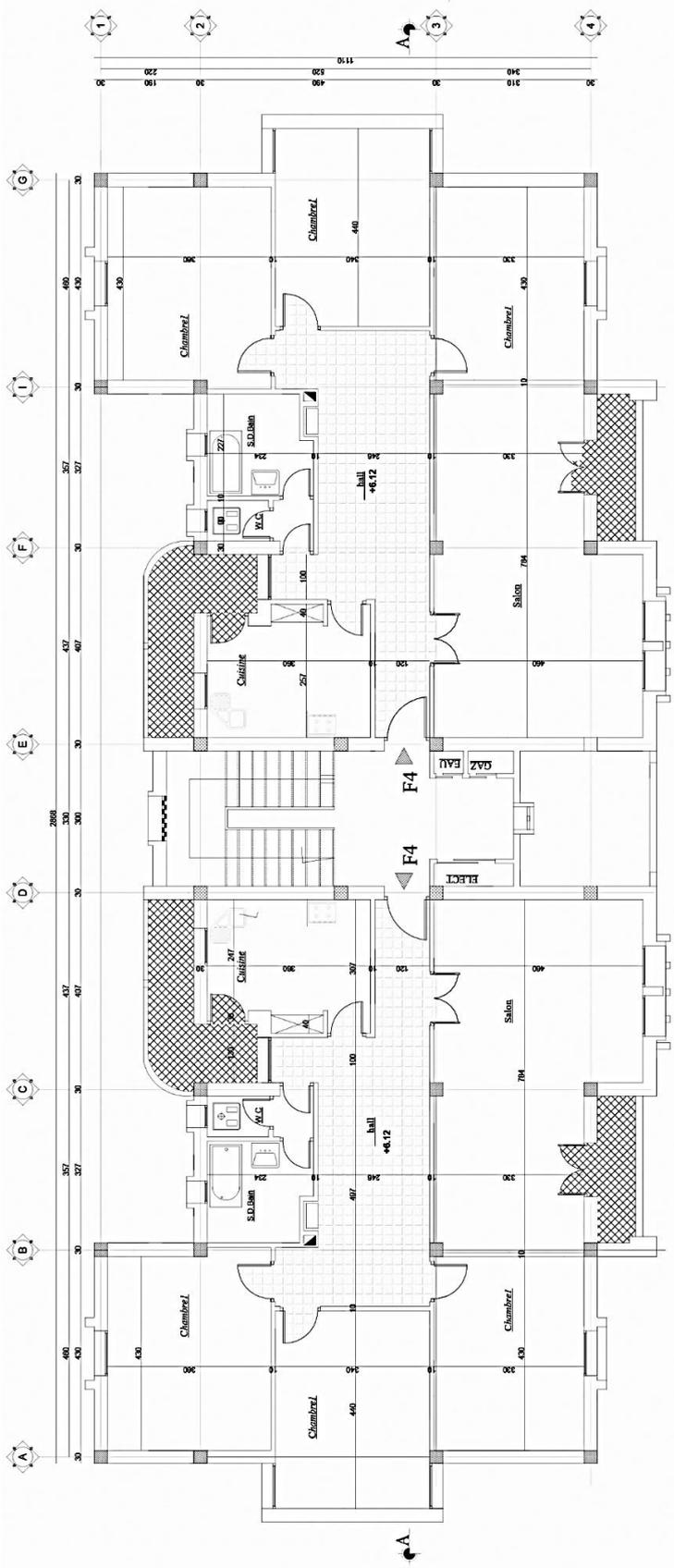
Façade arrière



Cité de 50 logements promotionnels



Plan RDC

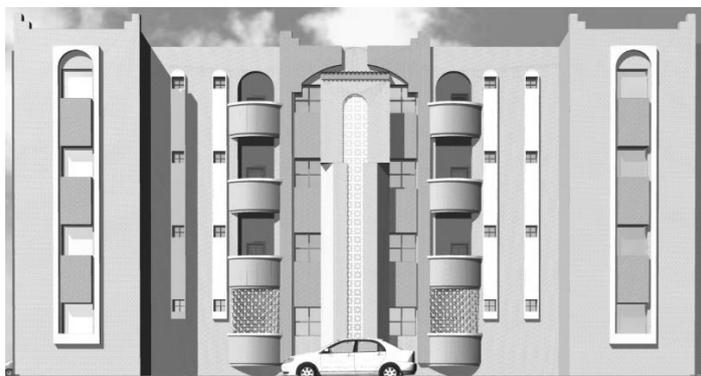


Plan de 1er étage





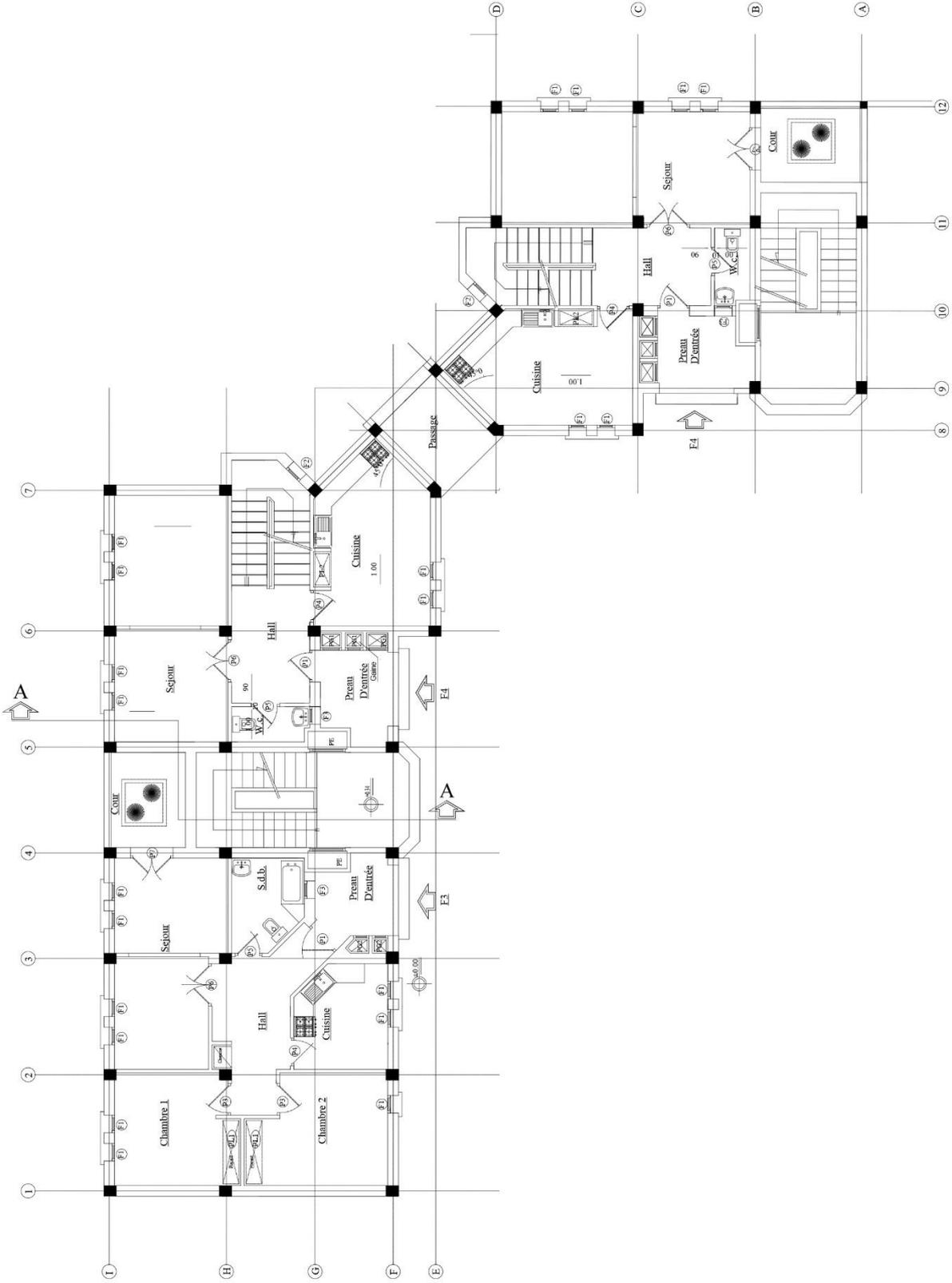
Façade avant



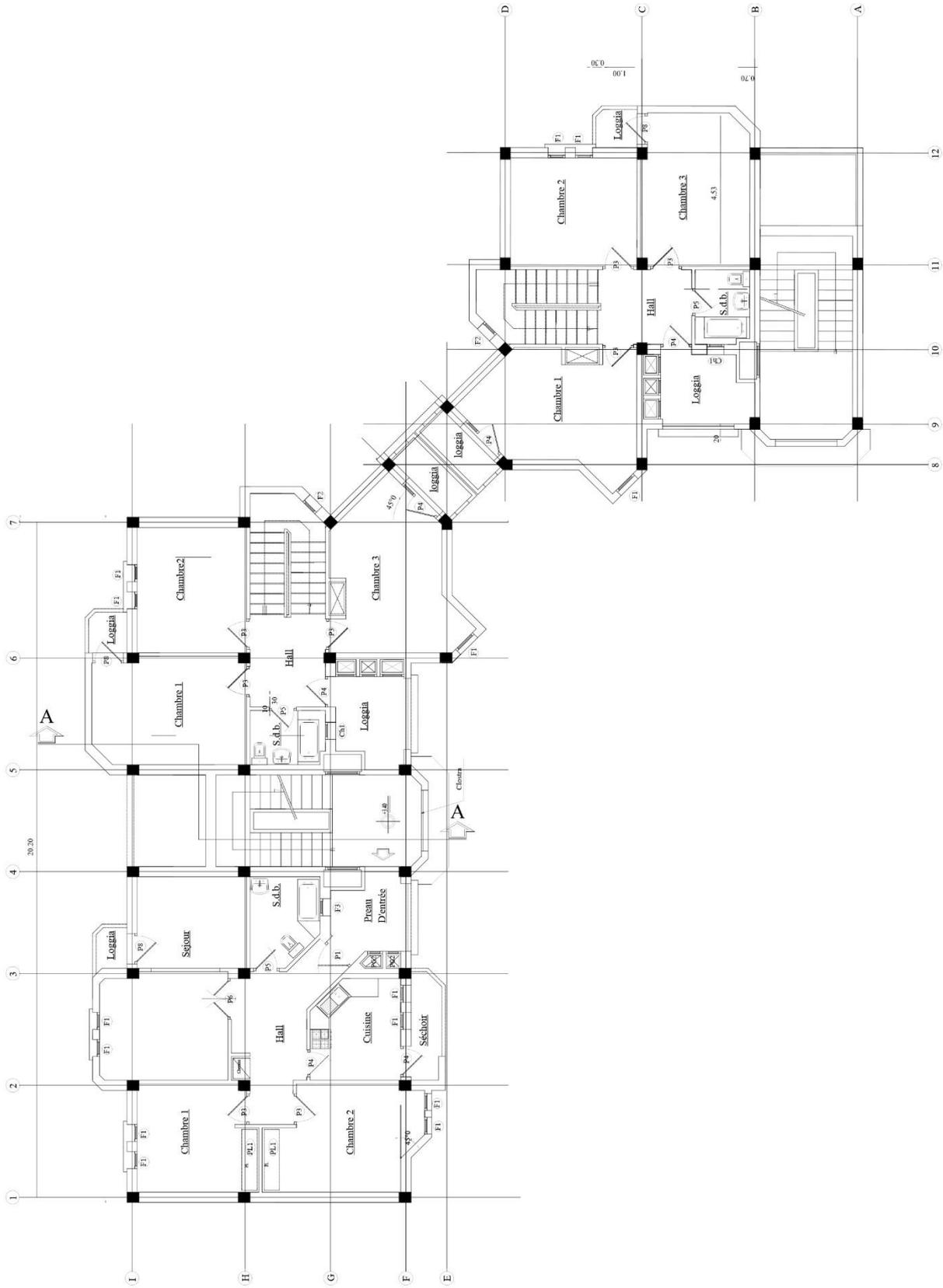
Façade arrière



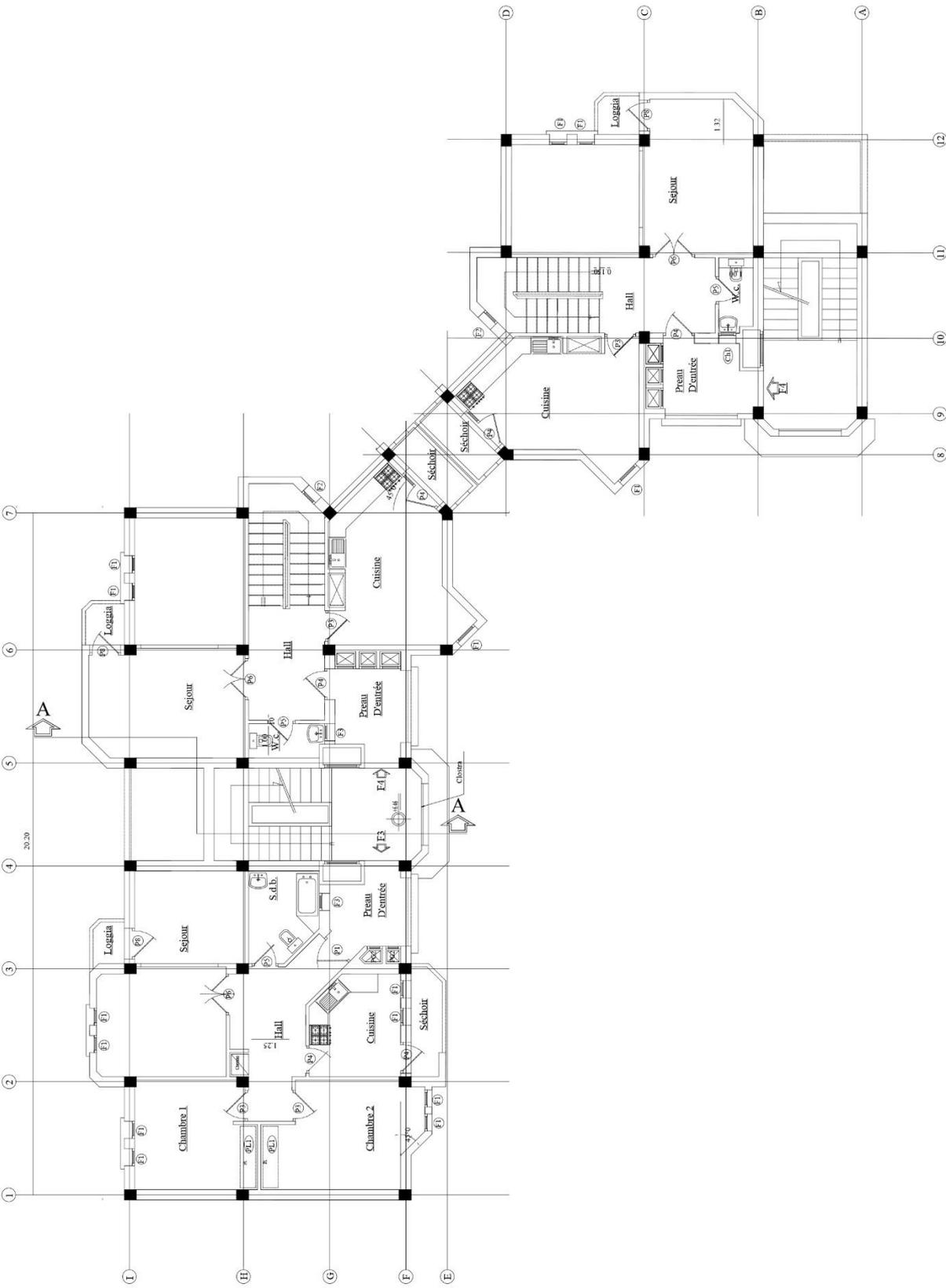
Cité de 110 logements promotionnels



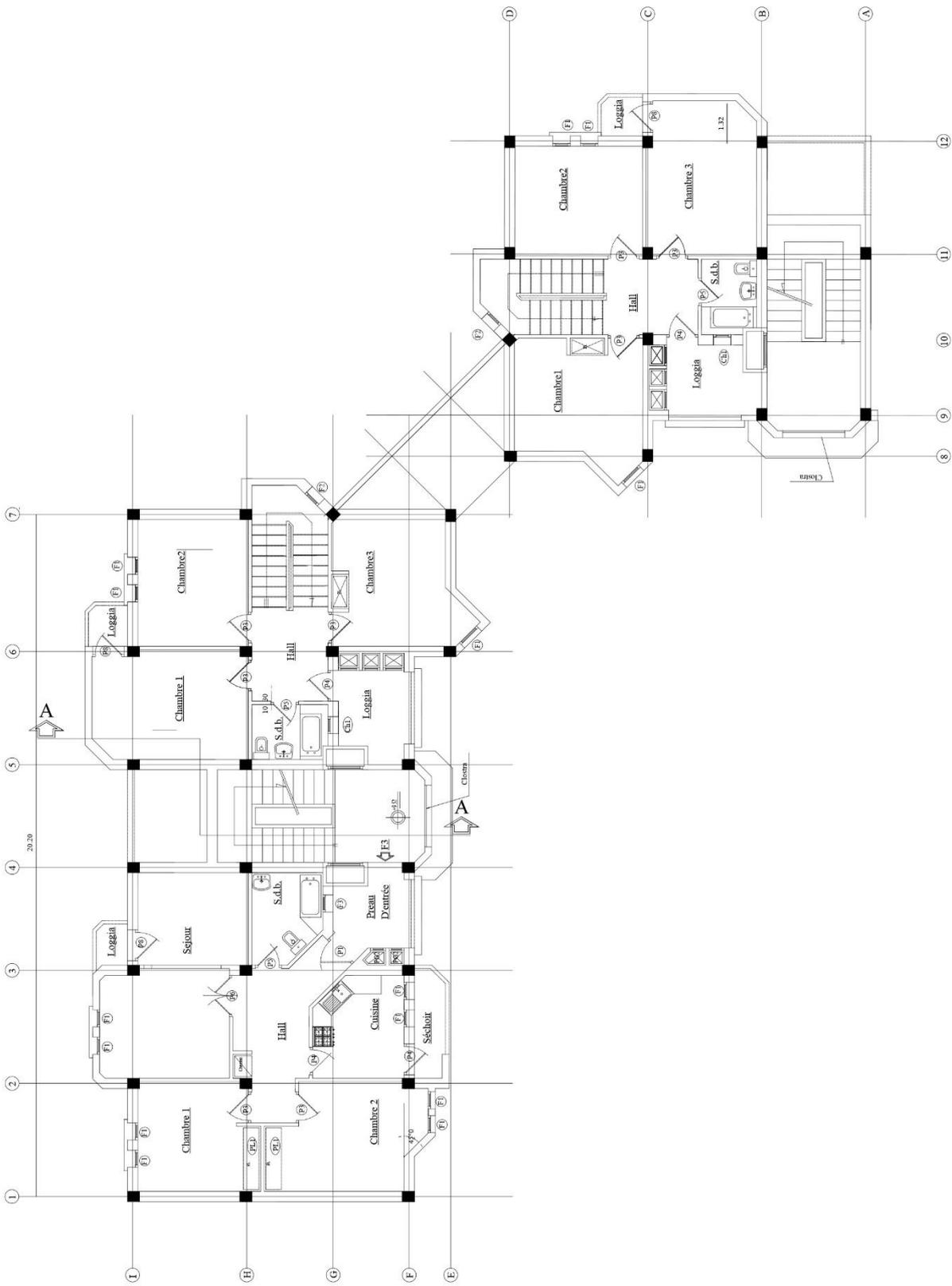
Plan RDC



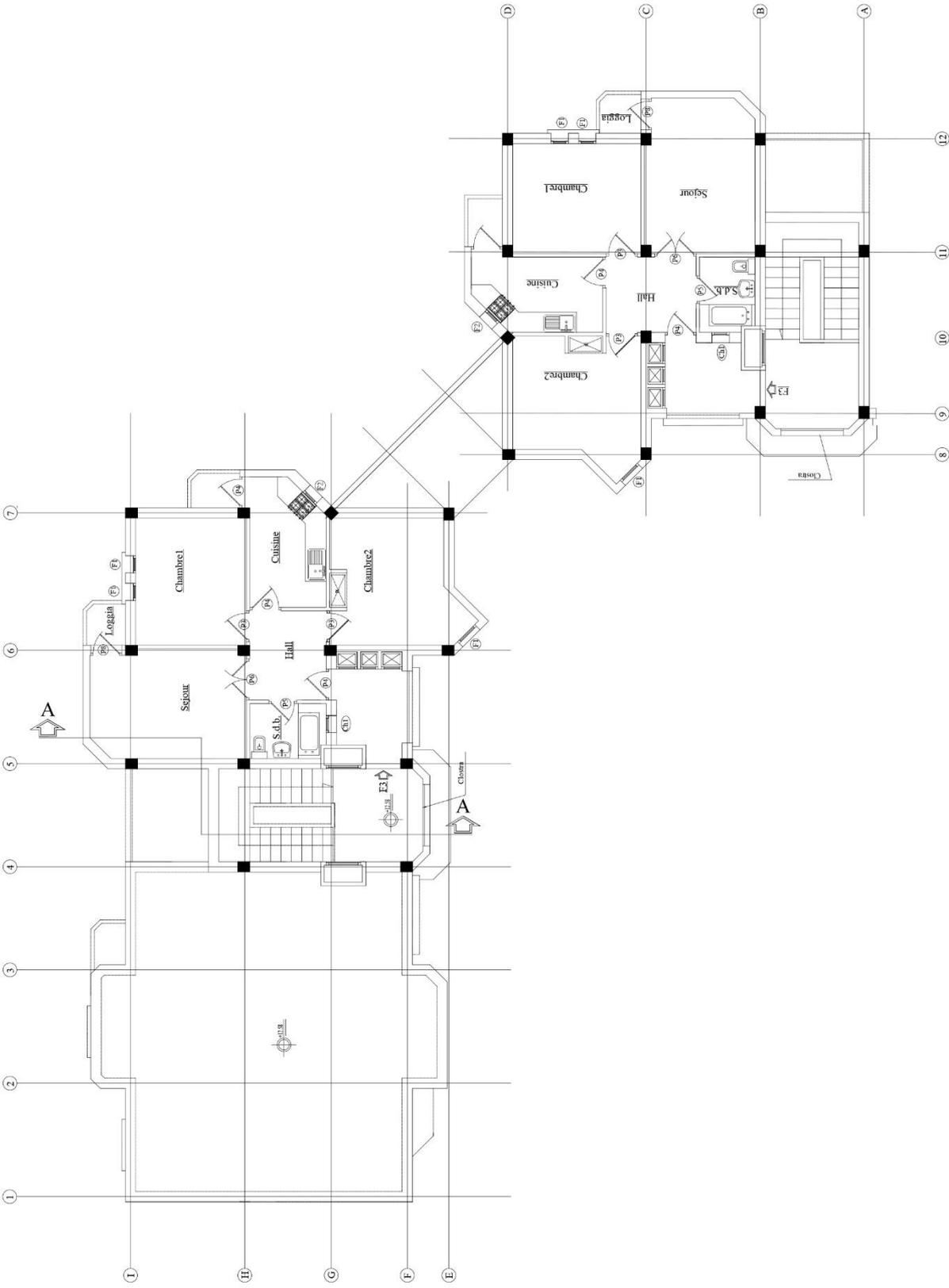
Plan de 1<sup>er</sup> étage



Plan de 2<sup>eme</sup> étage



Plan de 3<sup>eme</sup> étage



Plan de 4<sup>eme</sup> étage



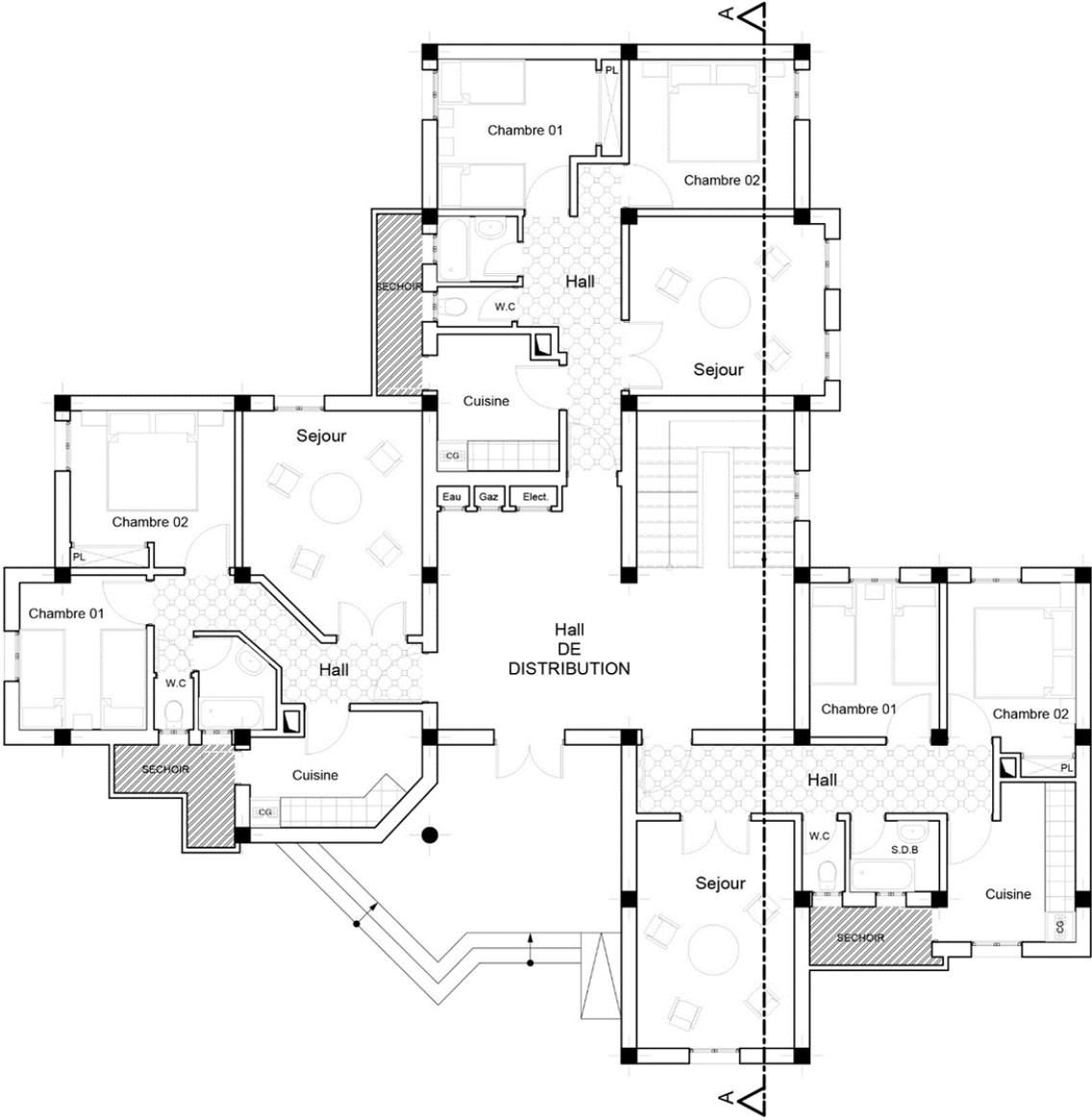
Façade avant



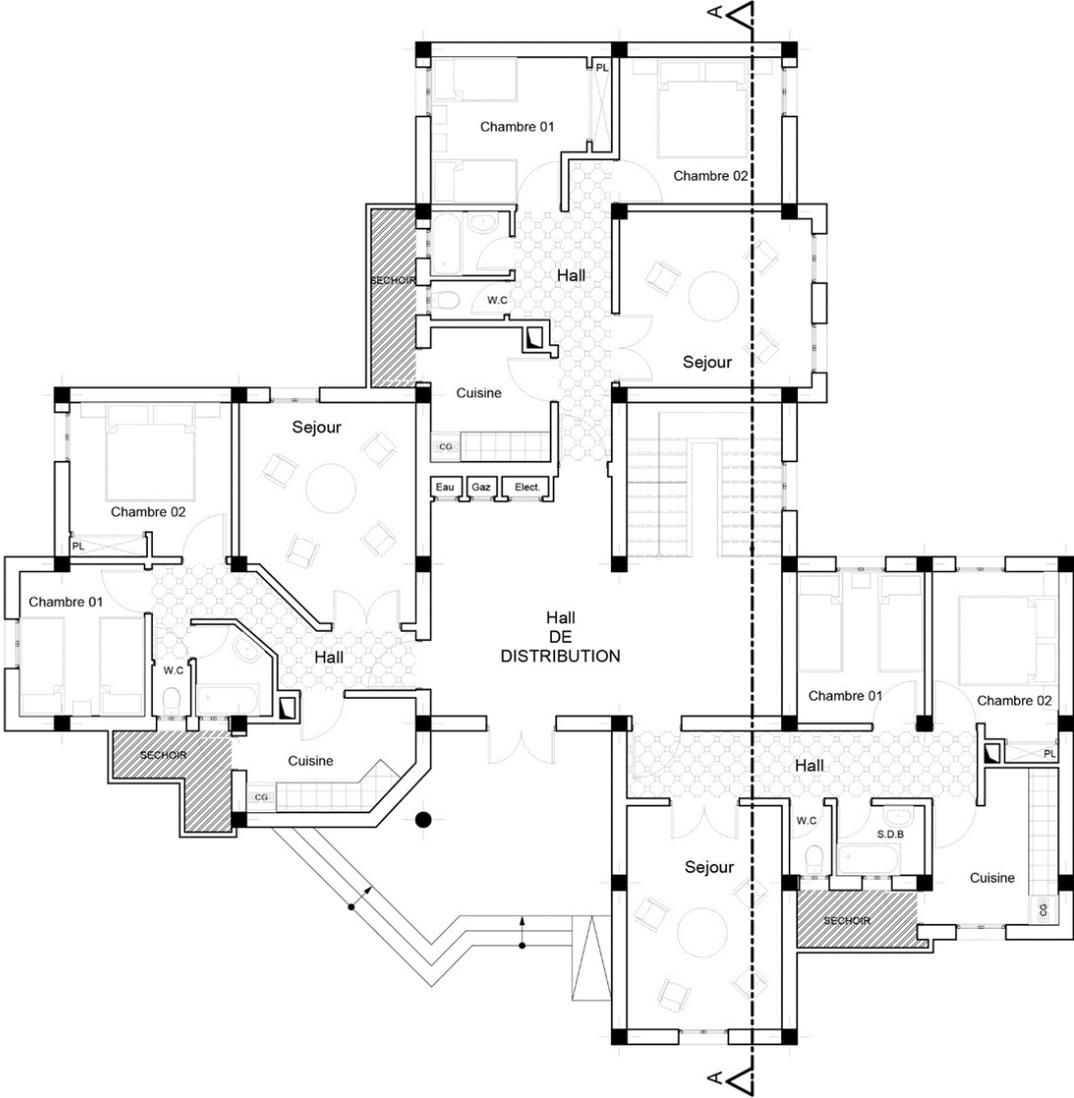
Façade arrière



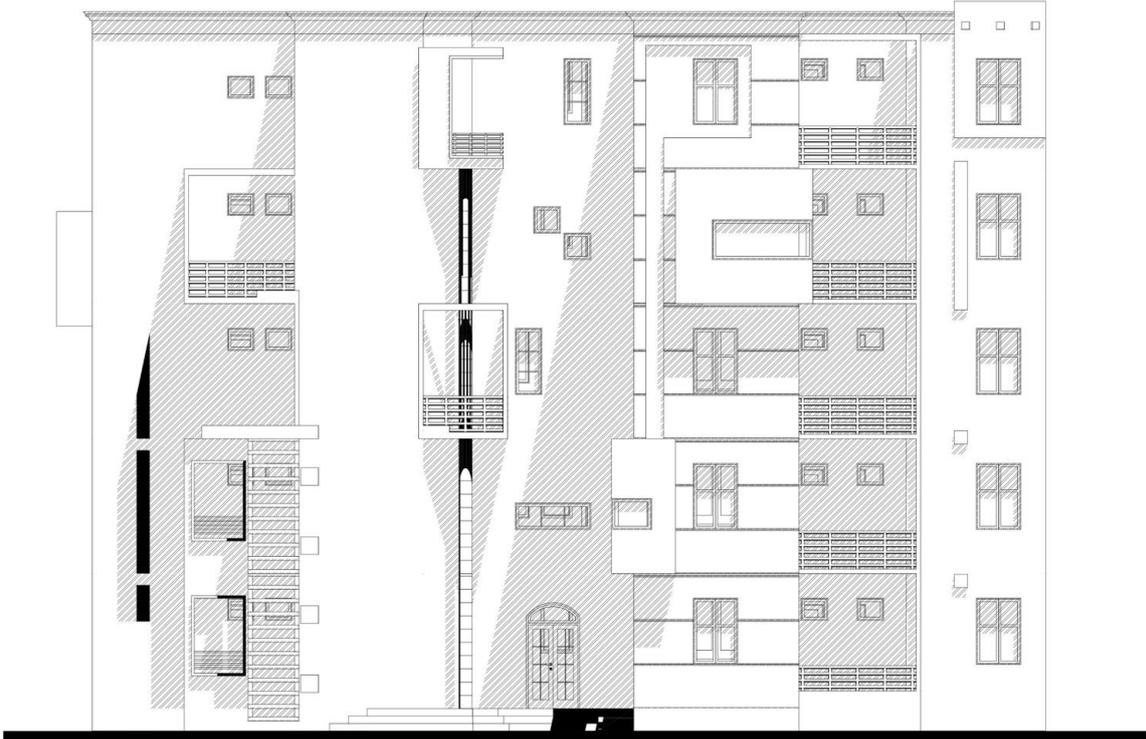
**Cité de 220 logements promotionnels**



Plan RDC

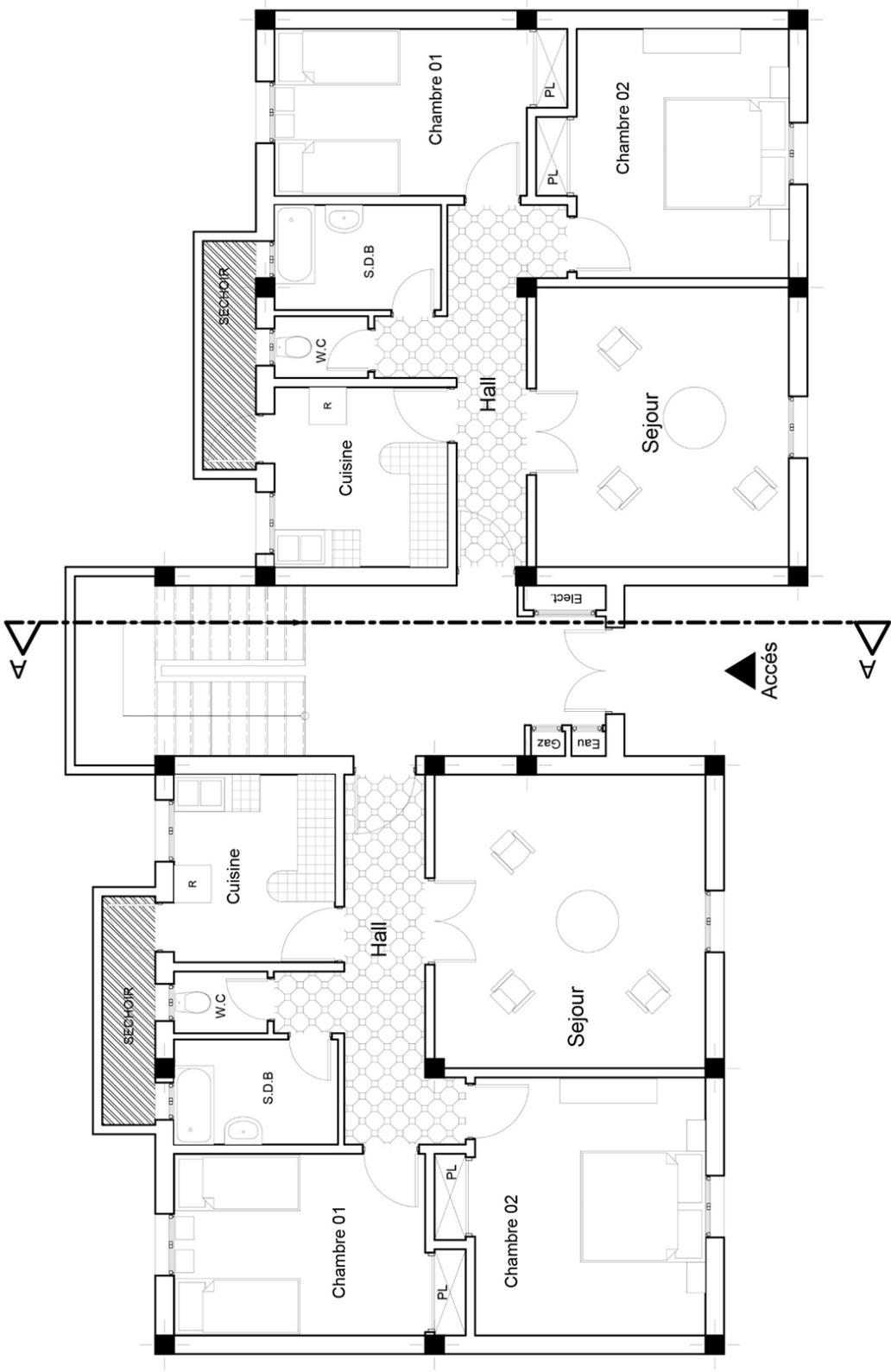


Plan de 1<sup>er</sup> étage

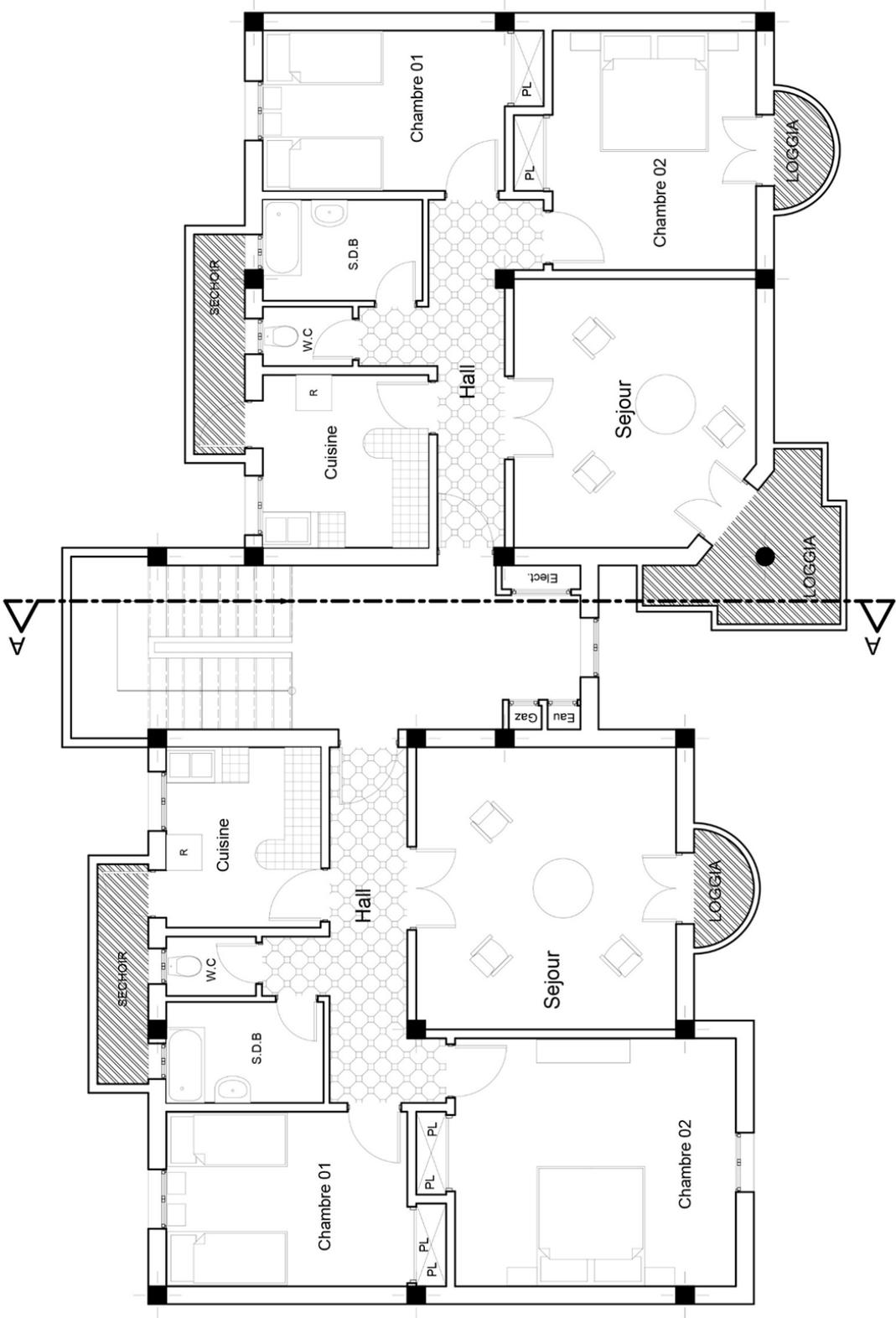


Façade avant

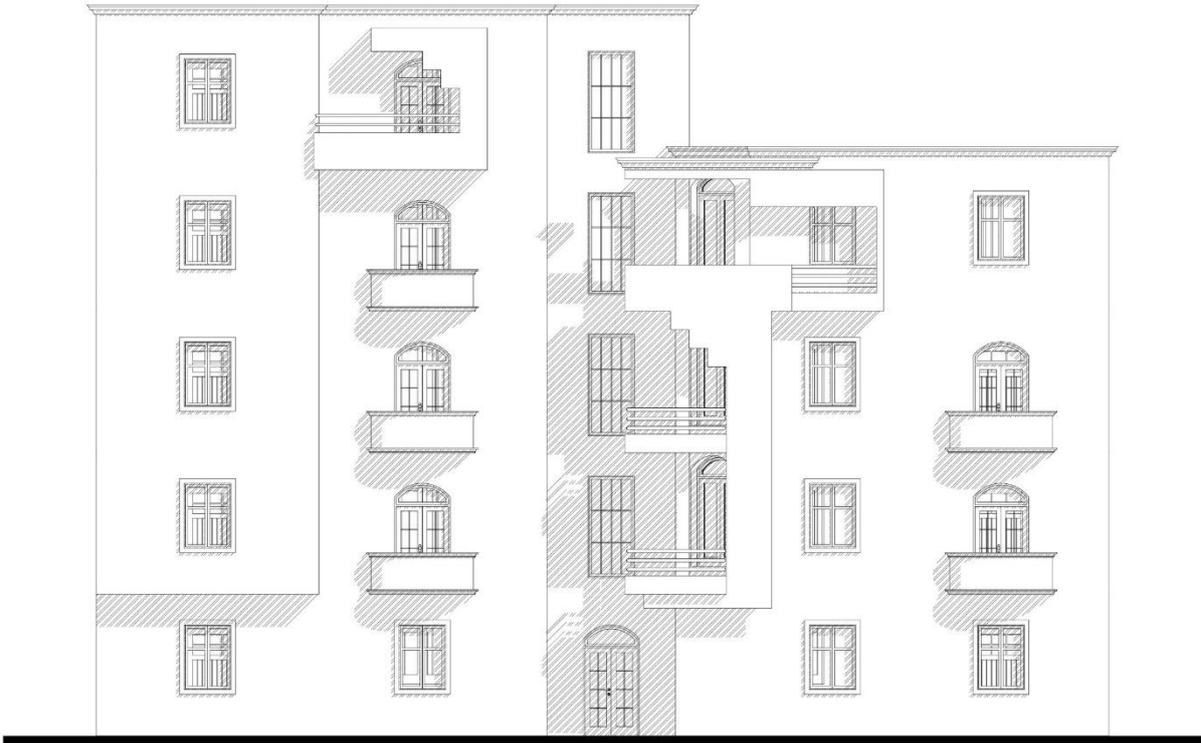
**Cité de 90 logements promotionnels**



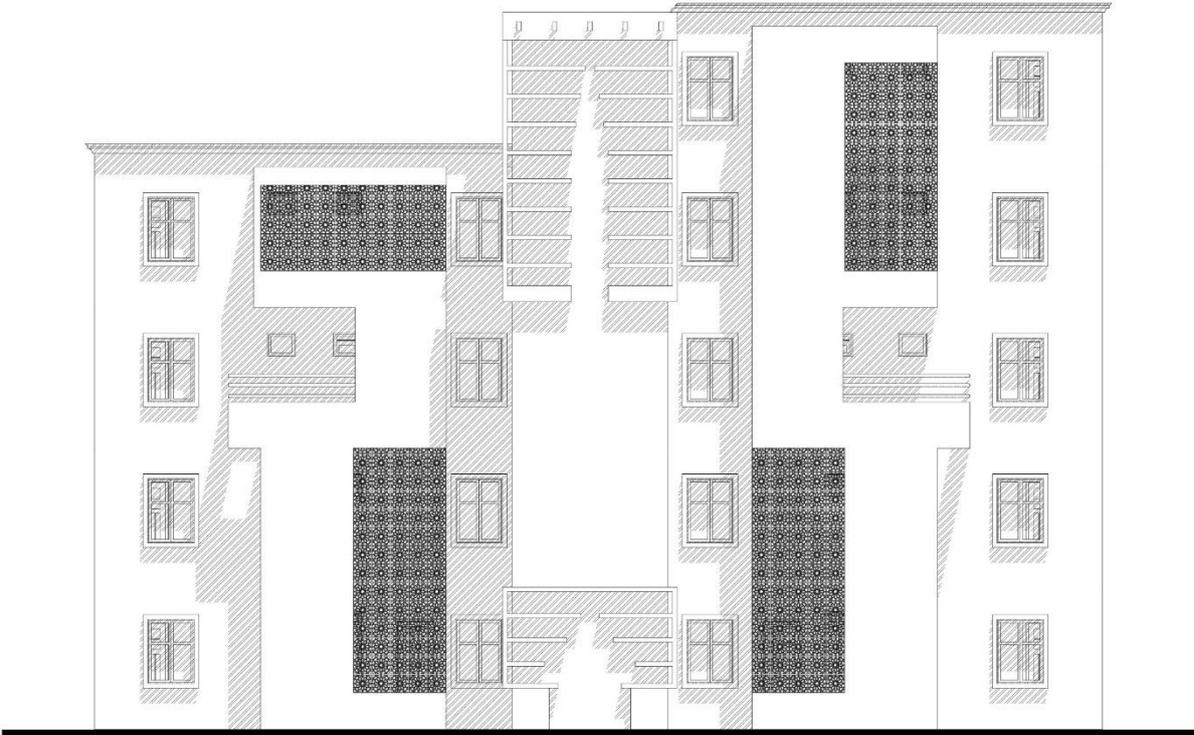
Plan RDC



Plan de 1<sup>er</sup> étage

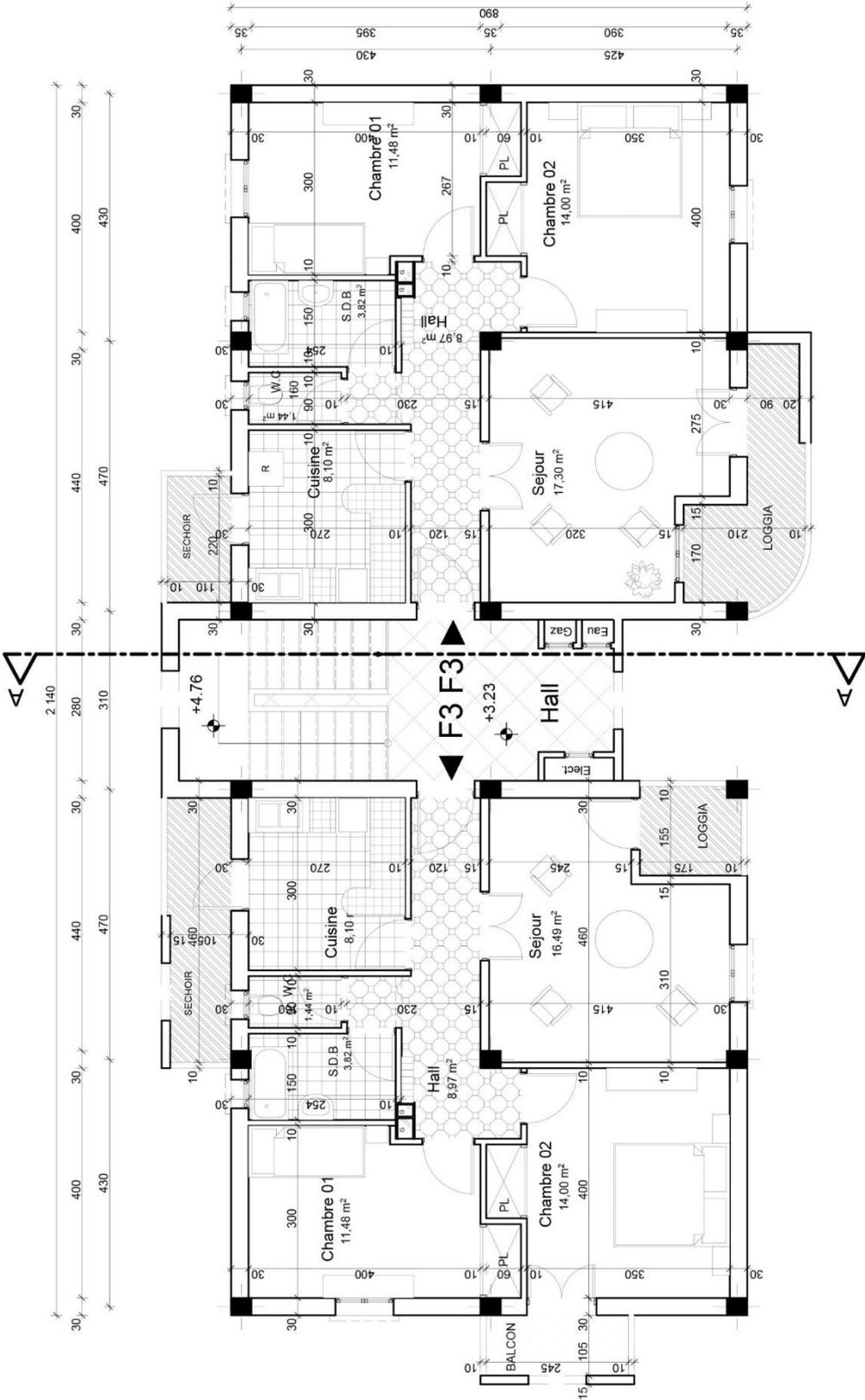


Façade avant

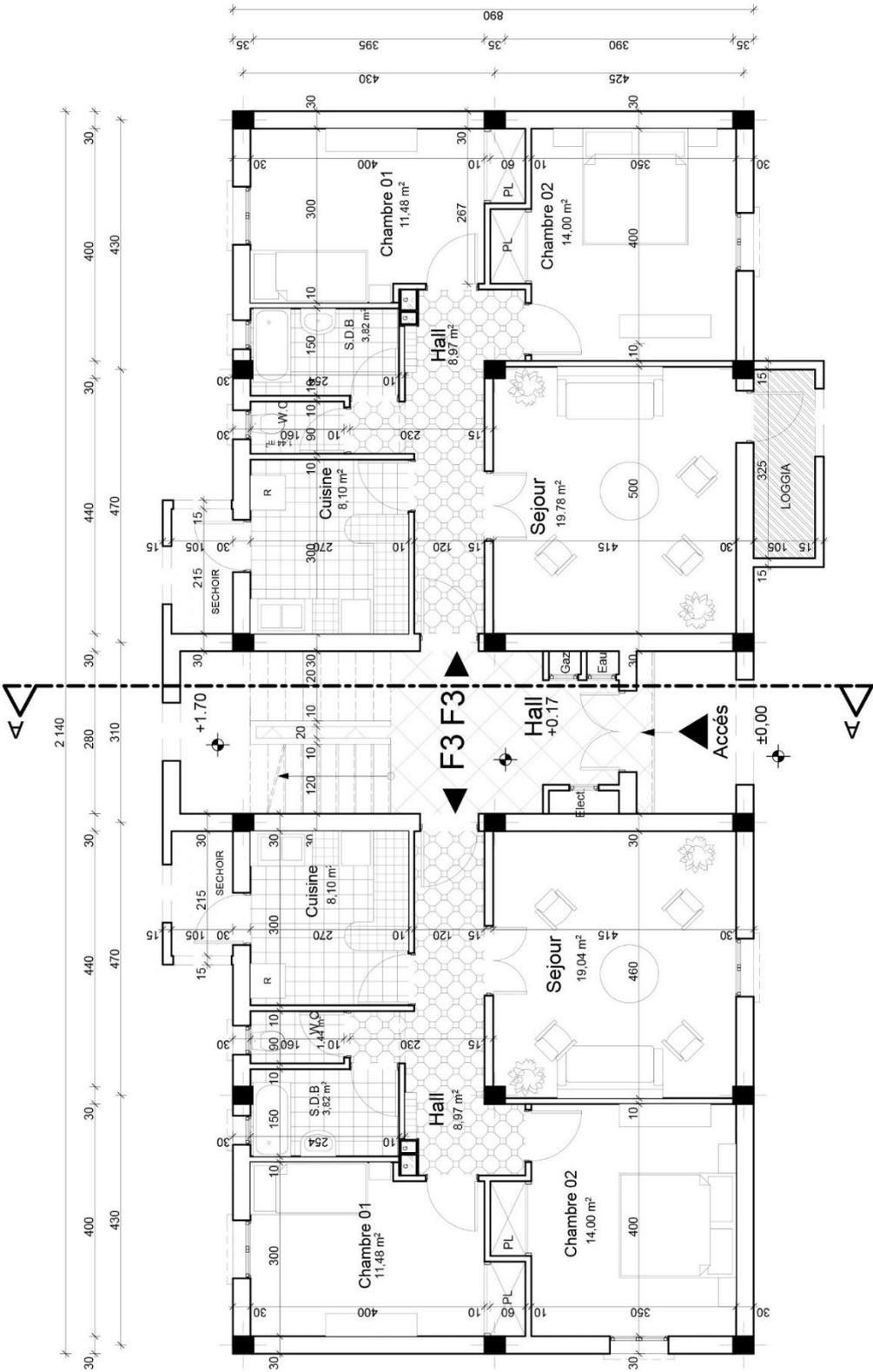


Façade arrière

Cité de 80 logements promotionnels



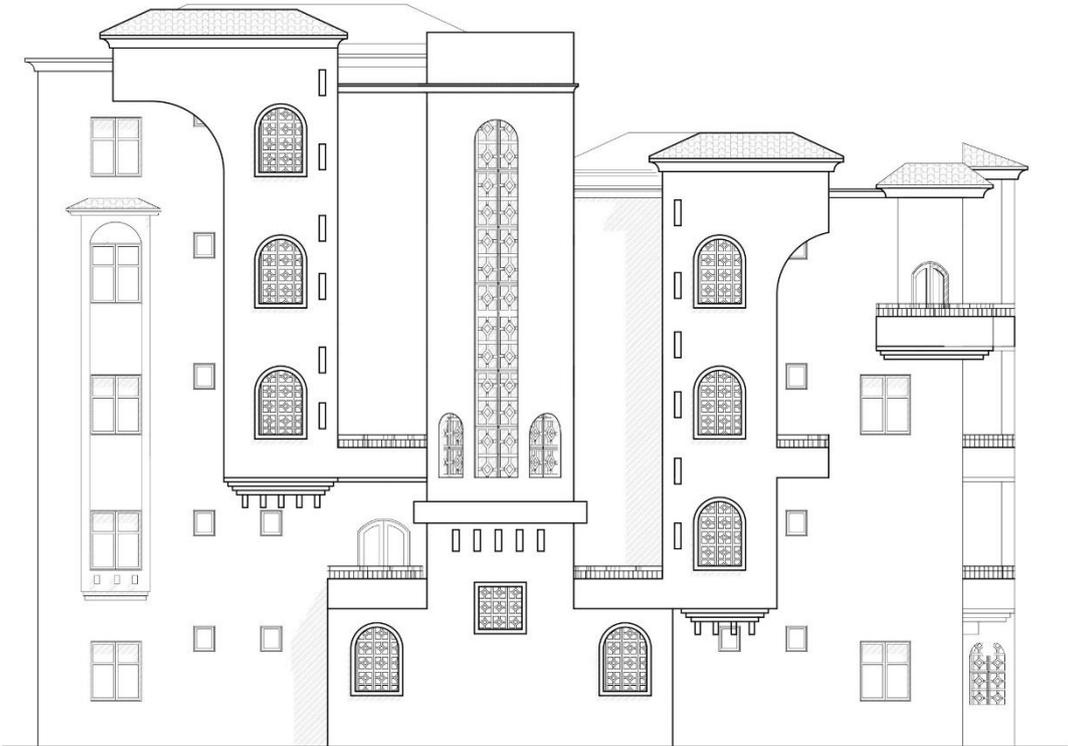
Plan RDC



Plan de 1<sup>er</sup> étage



Façade avant



Façade arrière

# Annexe B

## Questionnaire



Université Mohamed  
Khider - Biskra



LACOMOFA

### Questionnaire sur le confort thermique et lumineux

De : Djihed BERKOUK

Encadré par : Pr. Said MAZOUZ

Biskra le 05/06/2016

Madame, Monsieur;

Tout d'abord, je vous remercie pour votre participation à ce questionnaire qui rentre dans le cadre de la réalisation d'une thèse de doctorat en architecture que je prépare sous l'encadrement de Pr. Said MAZOUZ au sein du laboratoire LACOMOFA à l'université Mohamed Khider de Biskra.

Dans cette optique, je me permets de vous solliciter de bien vouloir remplir ce questionnaire et je vous serais reconnaissant si vous cochez par (X) sur la réponse que vous choisissez afin de vous décrire votre propre point de vue, sachant que le questionnaire est anonyme et est élaboré à des fins strictement académiques, ne comportant pas de réponses fausses et d'autres correctes.

D'autre part, je vous informe que votre participation à ce questionnaire est fortement essentielle à la réussite de notre travail de recherche.

Enfin, Je vous remercie infiniment pour votre coopération et pour votre compréhension.

**Nb:** Ce questionnaire sera récupéré deux jours après la distribution.

Veillez agréer l'expression de mes salutations distinguées.

**Mr. Djihed BERKOUK**

Doctorant en architecture

Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes Architecturales et Urbaine  
"LACOMOFA"

Département d'architecture

Faculté des sciences et de la technologie

Université Mohamed Khider, Biskra : BP 145 RP, 07000 Biskra, Algérie

Téléphone (Portable) : 05 58 79 13 51





## Première partie: Informations générales

## Informations personnelles

- Age :  ≤ 25  26\_35  36\_45  46\_55  56 ≤
- Sexe :  Masculin  Féminin
- Combien de personnes vivent dans votre logement ?  2  3  4  5  5<

## Environnement physique

- Etes-vous satisfait de la surface actuelle de votre salle de séjour ?  Oui  Non
- Préférez-vous que la surface de votre salle de séjour soit de :  20 m<sup>2</sup>  25 m<sup>2</sup>  30 m<sup>2</sup>  35 m<sup>2</sup>  40 m<sup>2</sup>
- Concernant votre salle de séjour, êtes-vous satisfait de la taille de vos fenêtres?  Oui  Non

## Deuxième partie: Questionnaire du confort

## Sensations envers l'effet du soleil (au niveau : i) de la lumière naturelle ii) et des rayonnements solaires)

- Généralement, combien d'heures utilisez-vous la lumière naturelle pour bien éclairer votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- Pendant l'hiver, combien d'heures utilisez-vous les rayonnements solaires pour chauffer votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- En hiver, combien d'heures préférez-vous que les rayonnements solaires doivent pénétrer dans votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- La salle de séjour doit avoir une distribution uniforme de l'éclairage ?  Fortement d'accord  D'accord  Neutre  En désaccord  Fortement en désaccord
- Pendant la période estivale, combien d'heures profitez vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- En été, combien d'heures préférez-vous que la lumière naturelle doit être utilisée dans votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- Durant la période hivernale, combien d'heures profitez vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- En hiver, combien d'heures préférez-vous que la lumière naturelle doit être utilisée dans votre salle de séjour ?  < 2h  2h\_4h  4h\_6h  6h\_8h  8h <
- Au niveau de l'environnement lumineux, êtes-vous d'accord que l'effet global de la lumière naturelle sur votre salle de séjour est satisfaisant?  Fortement d'accord  D'accord  Neutre  En désaccord  Fortement en désaccord
- Au niveau de l'environnement thermique, êtes-vous d'accord que l'effet global des rayonnements solaires sur votre salle de séjour est satisfaisant ?  Fortement d'accord  D'accord  Neutre  En désaccord  Fortement en désaccord





☐ À l'aide du tableau suivant, montrez combien de fois pensez-vous que la lumière du soleil vous apporter ces problèmes au niveau de votre salle de séjour : (Une réponse par ligne)

	Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
1- L'inconfort thermique					
2- L'inconfort lumineux dû à l'éblouissement					
3- L'inconfort lumineux dû au contraste					

**Comportements humains (Human behaviors)**

- ☐ Concernant votre salle de séjour, quelle est votre activité principale pendant la journée ?  
 Se relaxer    Regarder la TV    Manger    Bavarder    Lire
- ☐ Pour éviter les rayonnements solaires, utilisez-vous généralement une occultation par :  
 Rideau    Store    Persienne
- ☐ Acceptez-vous que l'utilisation d'un système de climatisation (refroidissement) reste une tâche obligatoire pendant l'été pour avoir un environnement thermique optimal dans votre salle de séjour ?  
 Fortement d'accord    D'accord    Neutre    Désaccord    Fortement désaccord
- ☐ En été, combien d'heures de la journée utilisez vous votre système de climatisation ?  
 < 2h    2h\_4h    4h\_6h    6h\_8h    8h <
- ☐ Pendant l'hiver, avez-vous besoin d'un système de chauffage pour avoir un environnement thermique acceptable dans votre salle de séjour ?  
 Fortement d'accord    D'accord    Neutre    Désaccord    Fortement désaccord
- ☐ En hiver, combien d'heures de la journée avez-vous utilisez votre système de chauffage ?  
 < 2h    2h\_4h    4h\_6h    6h\_8h    8h <
- ☐ Généralement, combien d'heures de la journée avez-vous allumez la lumière artificielle dans votre salle de séjour ?  
 < 2h    2h\_4h    4h\_6h    6h\_8h    8h <

**Confort thermique**

- ☐ Pendant la période estivale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?  
 Très chaud    Chaud    Légèrement chaud    Neutre    Légèrement froid    Froid    Très froid
- ☐ Généralement, cette sensation implique un état :  
 Très confortable    Confortable    Peu confortable    Peu inconfortable    Inconfortable    Très inconfortable
- ☐ D'après vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période estivale est :  
 acceptable    Inacceptable
- ☐ En été, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?  
 Humide    Naturel    Sec





- Pendant la période hivernale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?

Très chaud      Chaud      Légèrement chaud      Neutre      Légèrement froid      Froid      Très froid

- Généralement, cette sensation implique un état :

Très confortable      Confortable      Peu confortable      Peu inconfortable      Inconfortable      Très inconfortable

- Pour vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période hivernale est :

acceptable      Inacceptable

- En hiver, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?

Humide      Naturel      Sec

### Confort lumineux

- En été, estimez-vous que l'environnement lumineux de votre salle de séjour est satisfaisant ?

Fortement d'accord      D'accord      Neutre      Désaccord      Fortement désaccord

- Pendant la période estivale, êtes-vous généralement dans un état :

Très confortable      Confortable      Peu confortable      Peu inconfortable      Inconfortable      Très inconfortable

- Pour vous, l'environnement lumineux de votre salle de séjour pendant la période estivale est :

acceptable      Inacceptable

- En hiver, acceptez-vous que l'environnement lumineux de votre salle de séjour est satisfaisant ?

Fortement d'accord      D'accord      Neutre      Désaccord      Fortement désaccord

- Pendant la période hivernale, êtes-vous généralement dans un état :

Très confortable      Confortable      Peu confortable      Peu inconfortable      Inconfortable      Très inconfortable

- D'après vous, l'environnement lumineux de votre salle de séjour pendant la période hivernale est :

acceptable      Inacceptable



**Statistiques de fiabilité du questionnaire**

<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>			
		N	%
Observations	Valide	321	100,0
	Exclus <sup>a</sup>	0	,0
	Total	321	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.			

<b>Statistiques de fiabilité</b>	
Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,648	38

**Statistiques de fiabilité du questionnaire par type**

<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>				
Type			N	%
Promotionnel	Observations	Valide	138	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	138	100,0
Social	Observations	Valide	183	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	183	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.				

<b>Statistiques de fiabilité</b>		
Type	Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
Promotionnel	,655	38
Social	,648	38

### Statistiques de fiabilité du questionnaire par projet

<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>				
Projet			N	%
110 P	Observations	Valide	74	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	74	100,0
40 P	Observations	Valide	23	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	23	100,0
50 P	Observations	Valide	41	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	41	100,0
220 S	Observations	Valide	82	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	82	100,0
90 S	Observations	Valide	44	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	44	100,0
80 S	Observations	Valide	57	100,0
		Exclus <sup>a</sup>	0	,0
		Total	57	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.				

<b>Statistiques de fiabilité</b>		
Projet	Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
110 P	,578	38
40 P	,676	38
50 P	,715	38
220 S	,613	38
90 S	,354	38
80 S	,765	38

**Statistiques de fiabilité de la partie du confort thermique et lumineux**

<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>			
		N	%
Observations	Valide	321	100,0
	Exclus <sup>a</sup>	0	,0
	Total	321	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.			

<b>Statistiques de fiabilité</b>		
Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments normalisés	Nombre d'éléments
,642	,700	14

**Statistiques de fiabilité de la partie du confort thermique**

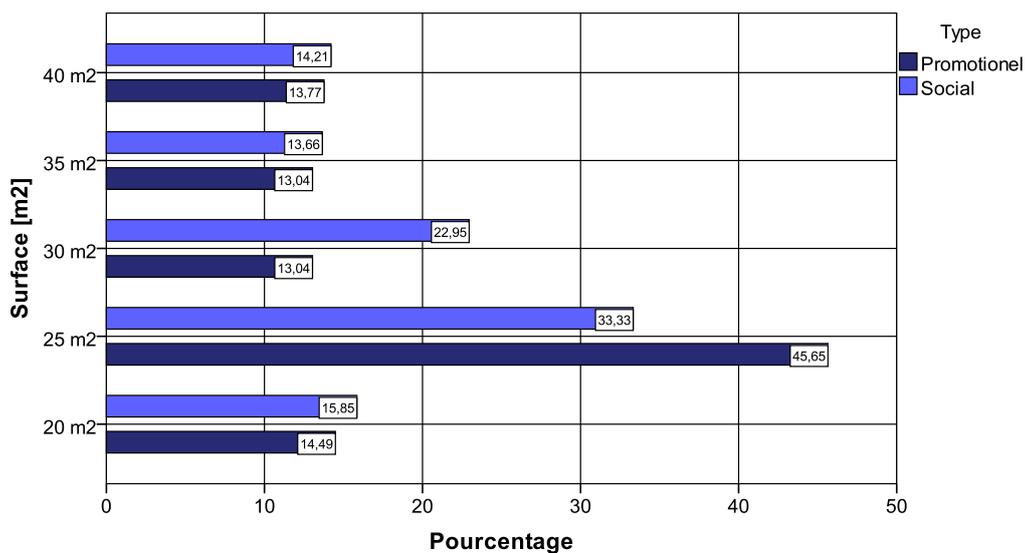
<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>			
		N	%
Observations	Valide	321	100,0
	Exclus <sup>a</sup>	0	,0
	Total	321	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.			

<b>Statistiques de fiabilité</b>		
Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments normalisés	Nombre d'éléments
,336	,400	8

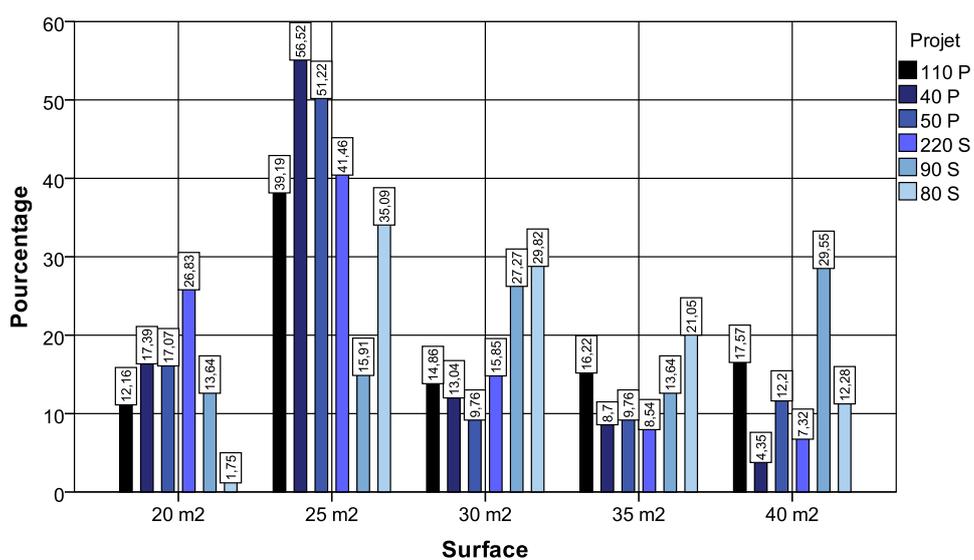
**Statistiques de fiabilité de la partie du confort lumineux**

<b>Récapitulatif de traitement des observations</b>			
		N	%
Observations	Valide	321	100,0
	Exclus <sup>a</sup>	0	,0
	Total	321	100,0
a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.			

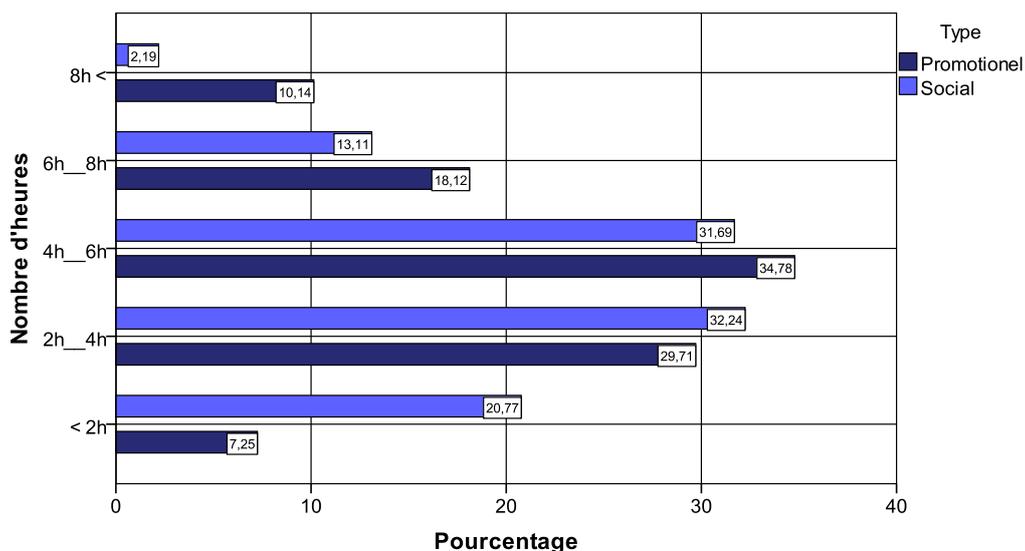
<b>Statistiques de fiabilité</b>		
Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments normalisés	Nombre d'éléments
,757	,796	6



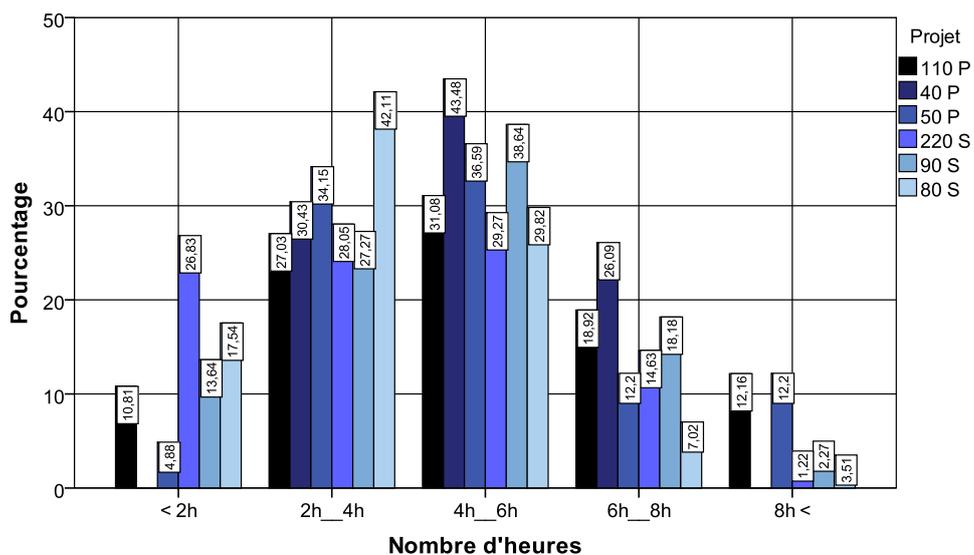
Avis des participants envers la surface préférée des salles de séjour en fonction de chaque type d'habitation



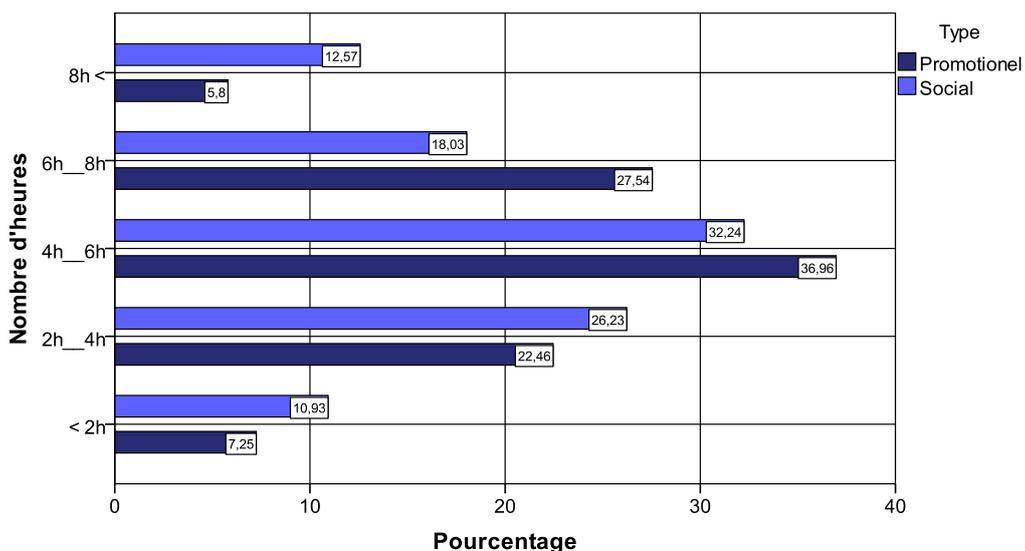
Avis des participants envers la surface préférée des salles de séjour en fonction de chaque cité



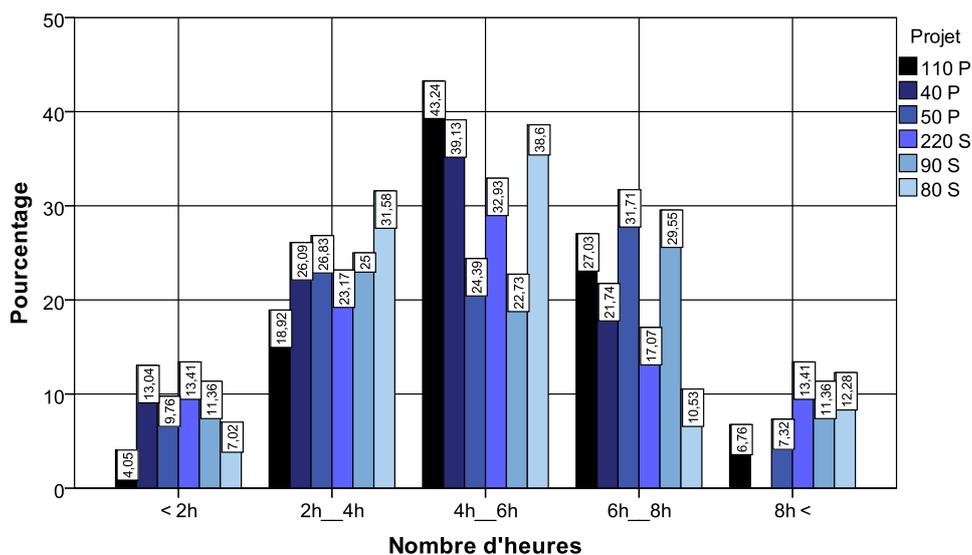
Durée préférée pour l'utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque type de logement



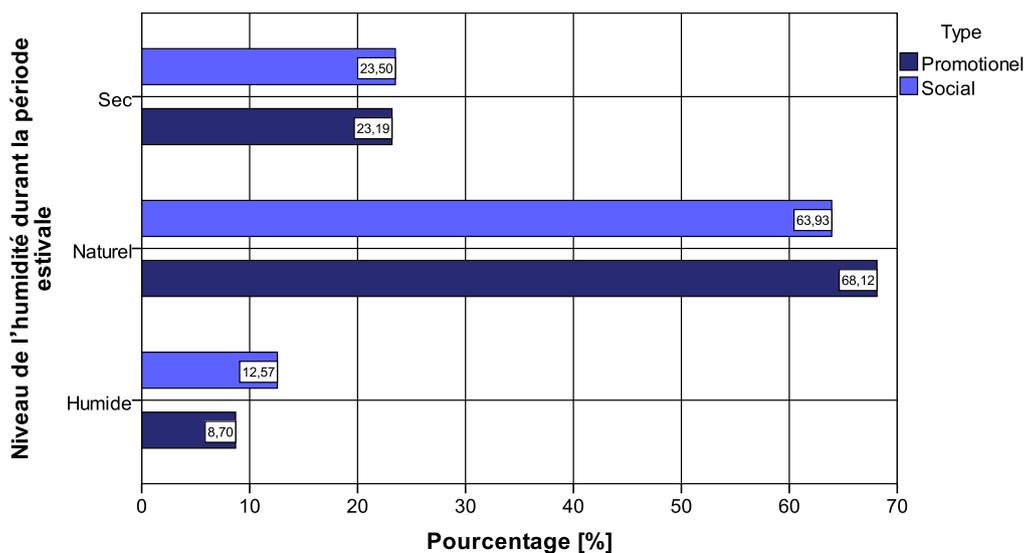
Durée préférée pour l'utilisation des rayonnements solaires pendant la journée de la période hivernale en fonction de chaque cité



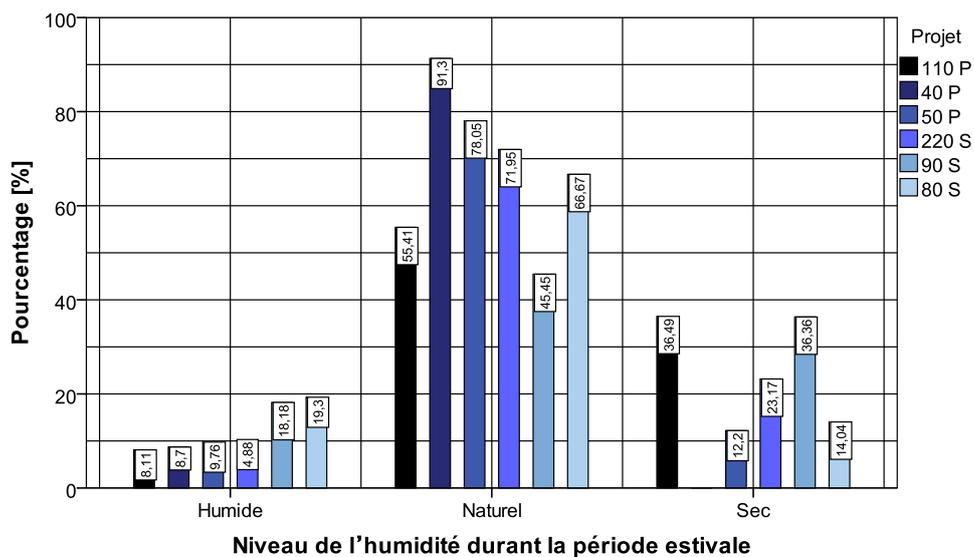
Avis des participants sur la durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période estivale en fonction de chaque type de logement



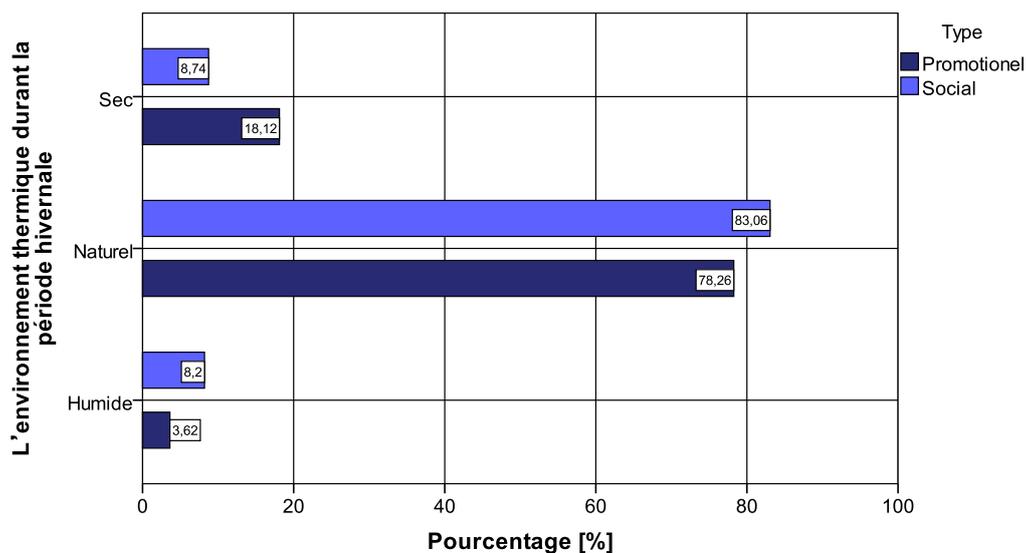
Avis des participants sur la durée de l'utilisation de la lumière naturelle pendant la période estivale en fonction de chaque cité



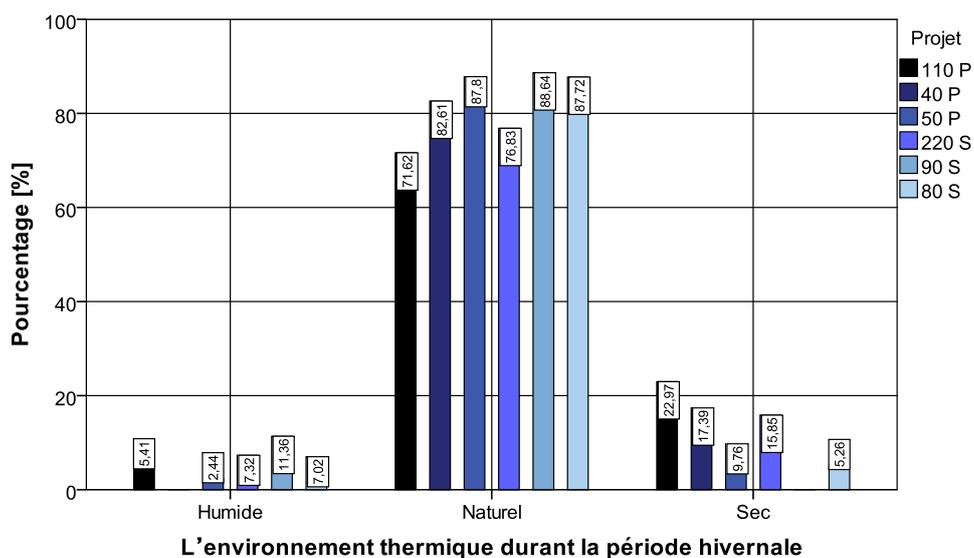
Niveau de l'humidité de l'air durant la période estivale en fonction de chaque type de logement



Niveau de l'humidité de l'air durant la période estivale en fonction de chaque cité



Niveau de l'humidité de l'air durant la période hivernale en fonction de chaque type de logement

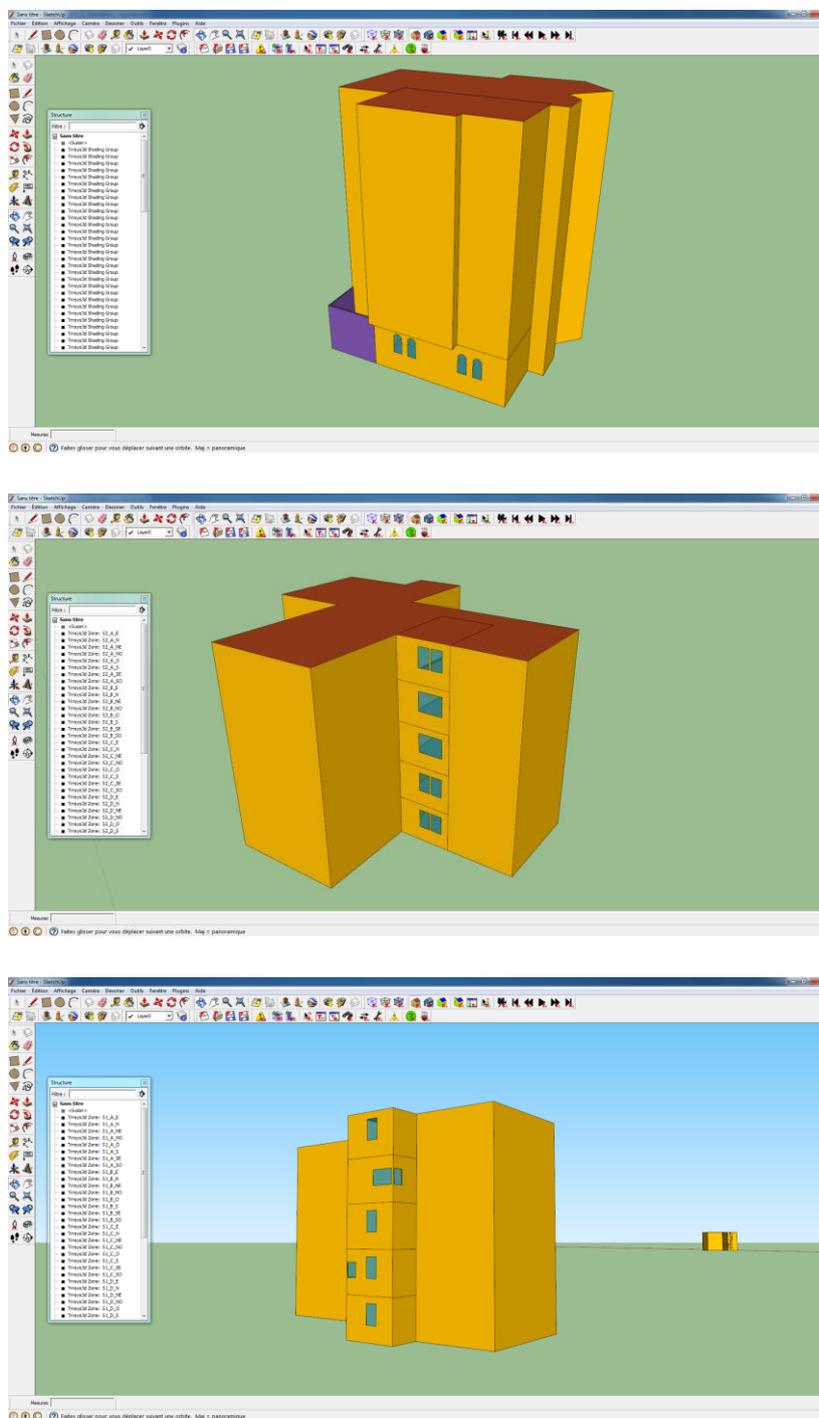


Niveau de l'humidité de l'air durant la période hivernale en fonction de chaque cité

## Annexe C

### Déroulement des simulations du confort thermique

#### Modélisation (SketchUP©)

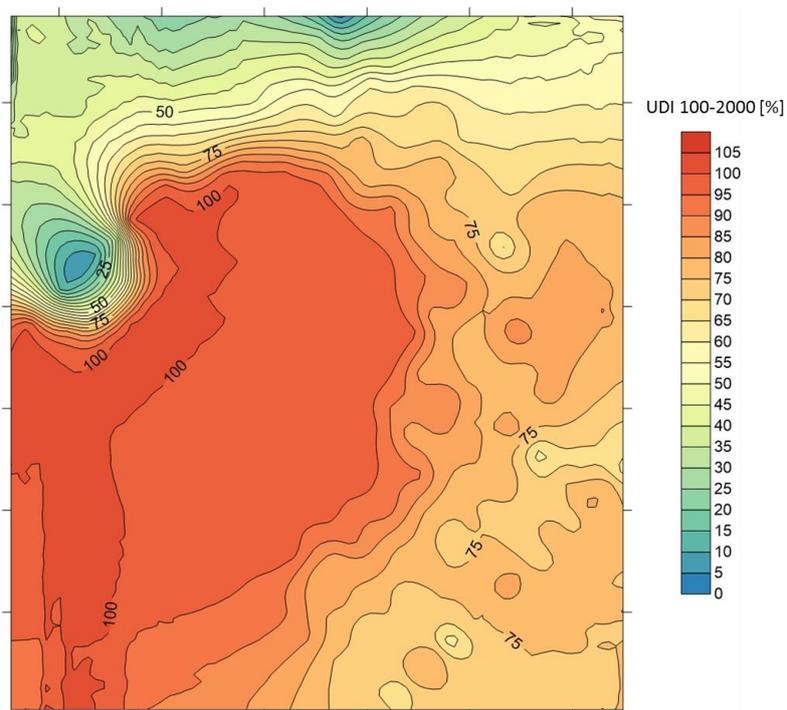


Exemples de modélisation par l'utilisation du logiciel SketchUP©

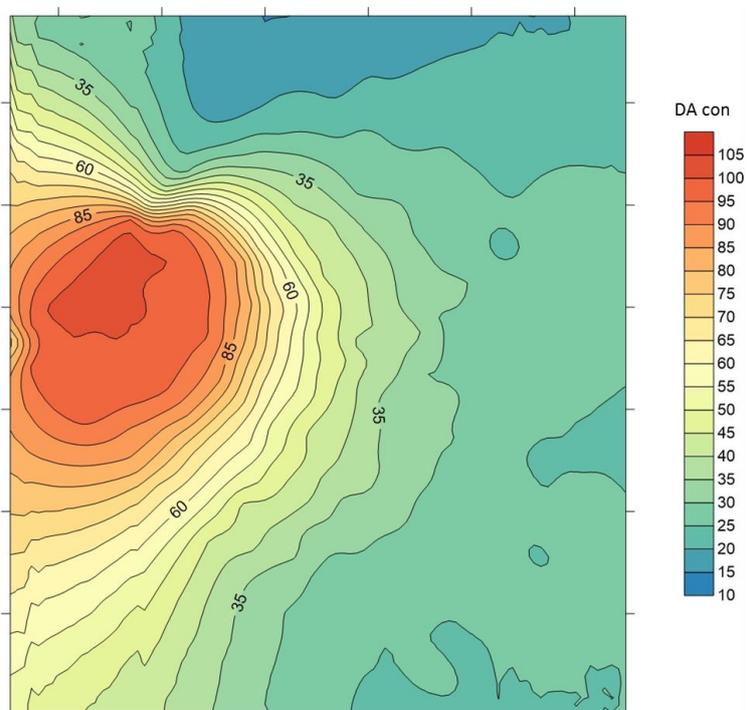


## Déroulement des simulations du confort lumineux

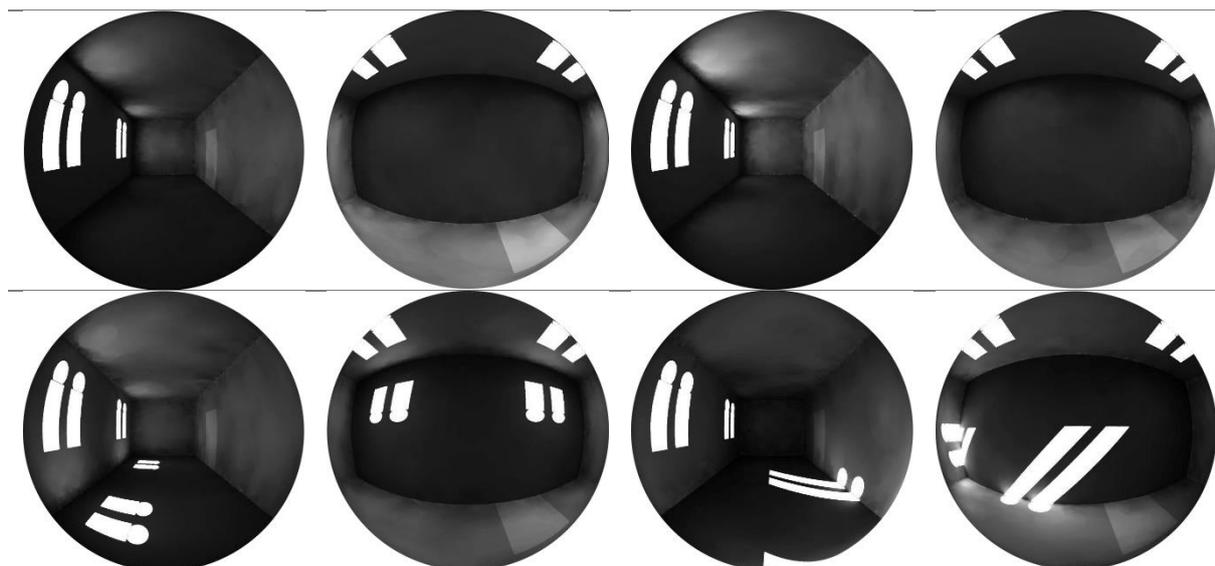
### Simulation (Daysim©)



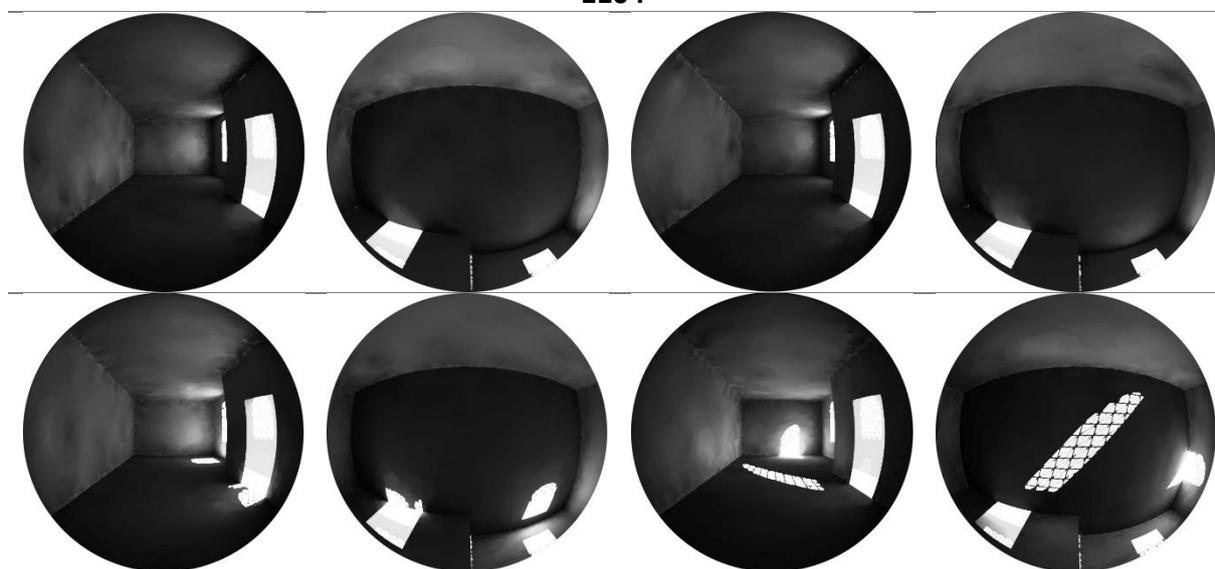
Exemple de simulation de l'UDI<sub>100-200</sub> (S1b\_40P)\_NO\_(10h\_11)



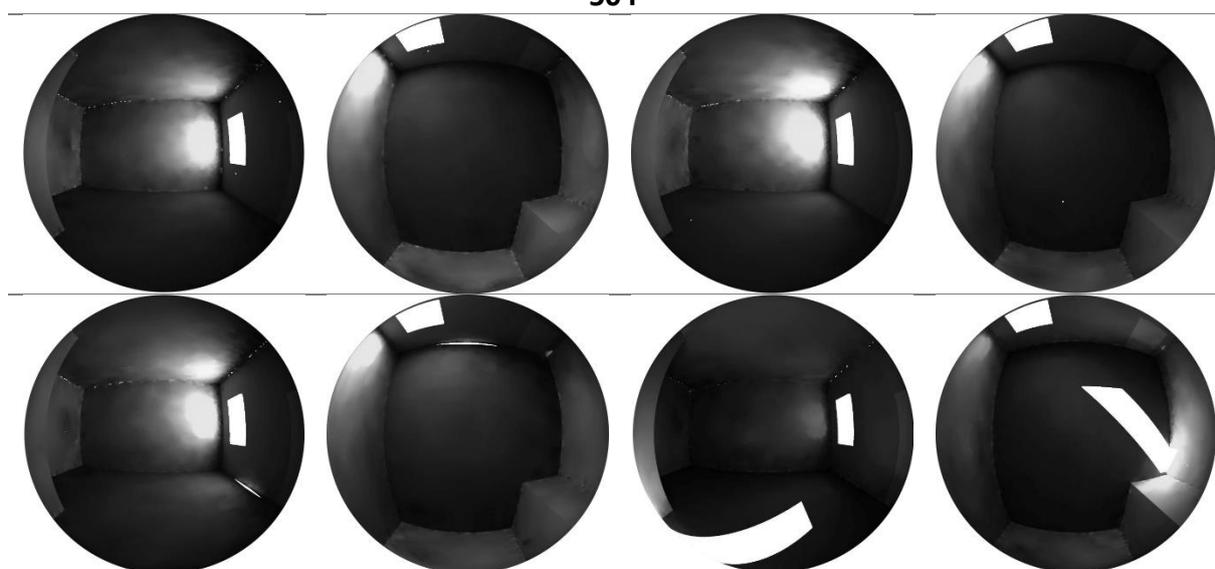
Exemple de simulation de DA<sub>con</sub> (S1b\_40P)\_NO\_(10h\_11)



110 P

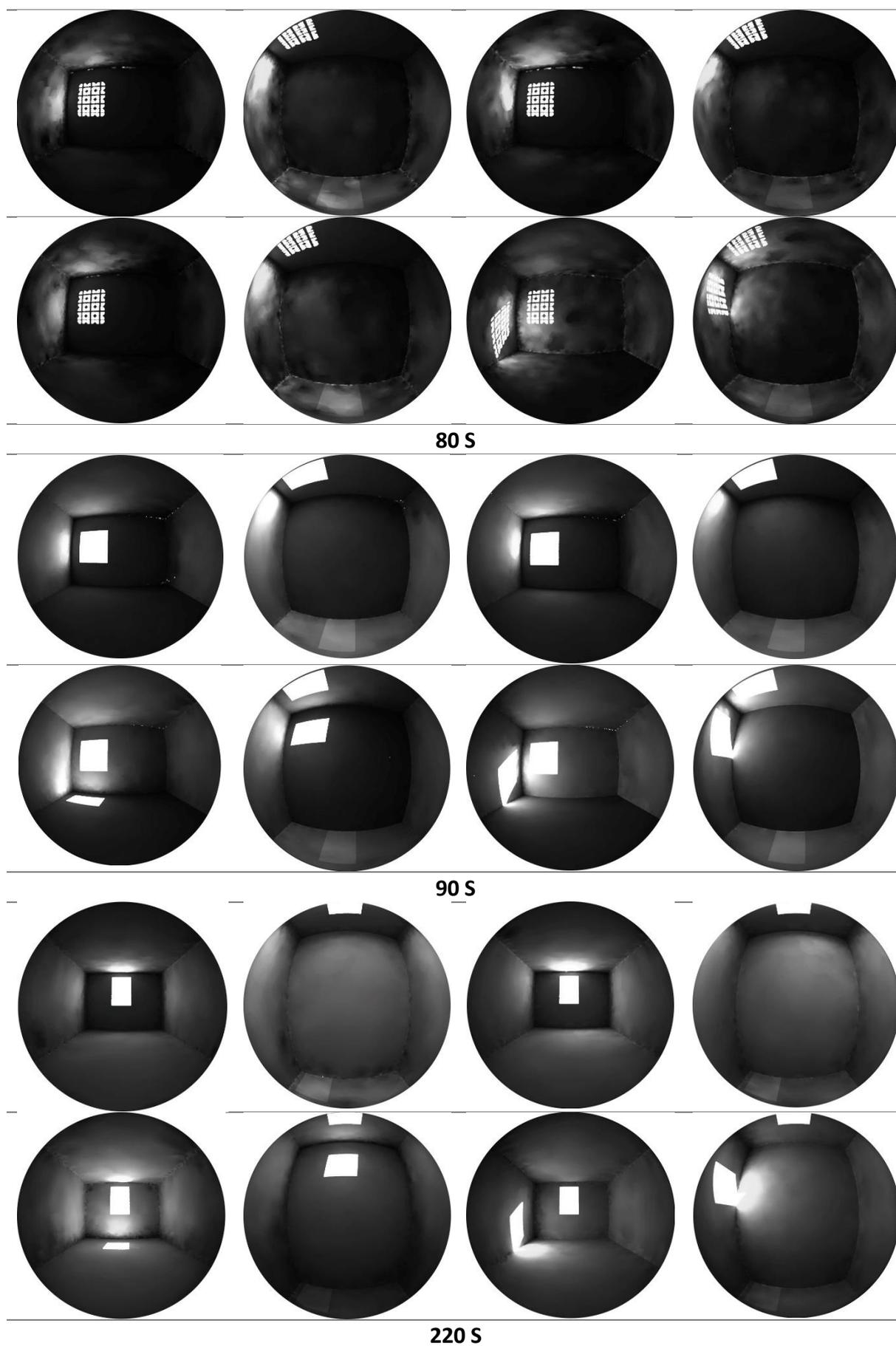


50 P



40 P

**Quelques simulations des logements promotionnels Aout (8h 11h 14h 17h) (Radiance©)**



Quelques simulations des logements sociaux Aout (8h 11h 14h 17h) (Radianc©)

## Température ambiante de l'air (Ta)

### Comparaison 1

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]				
		15 [C°]	18 [C°]	30 [C°]	32 [C°]	34 [C°]
<b>S1a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	24,7	35,5	77,4	85	95,4
	Zone 2 (NO)	24,4	35,5	77,6	84,9	95,1
	Zone 3 (SE)	19	27,8	77	84	94,3
	Zone 4 (SO)	18,6	32	76,9	83,8	93,8
<b>S2a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	13,5	28,1	71,4	77,5	86,6
	Zone 2 (NO)	13,7	28,2	71,9	78	87,3
	Zone 3 (SE)	5,9	20,8	70,1	78,1	86,6
	Zone 4 (SO)	7	21,6	70,2	77,5	86,3
<b>S1a_50 P</b>	Zone 1 (NE)	8	22,6	63,2	70,8	77,1
	Zone 2 (NO)	4,8	18,7	62,3	70,1	76,9
	Zone 3 (SE)	8,3	22,5	62	69,2	75,1
	Zone 4 (SO)	6,6	21,2	61,5	68,8	75,1
<b>S1a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	21,1	33,9	77,7	86,1	95,2
	Zone 2 (NO)	22,4	34,6	78,1	86,6	95,6
	Zone 3 (SE)	15,6	30,3	77,4	85,3	94,5
	Zone 4 (SO)	17	30,9	77,3	85,3	94,3
<b>S2a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	18,4	31,2	73,2	79,8	88,4
	Zone 2 (NO)	22,8	34,6	77,2	85,4	94,2
	Zone 3 (SE)	18,3	31,5	76,2	84,4	92,8
	Zone 4 (SO)	15,2	29,7	78,3	86,6	94,9
<b>S1a_90 S</b>	Zone 1 (NE)	19,7	32,5	74,7	81,6	91,3
	Zone 2 (NO)	20,5	32,9	74,8	81,8	91,4
	Zone 3 (SE)	17,7	31,7	78,7	87,2	96
	Zone 4 (SO)	18,3	31,9	78,6	87,5	95,9
<b>S1a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	21	33,7	78,9	88,1	97,3
	Zone 2 (NO)	21,6	34,1	78,9	88,1	97,4
	Zone 3 (SE)	19,3	32,8	78,9	88	97,2
	Zone 4 (SO)	20,2	33,2	78,8	87,8	97,2
<b>S2a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	20,7	33,2	75,8	83,8	93,5
	Zone 2 (NO)	20,1	32,9	75,9	83,8	93,2
	Zone 3 (SE)	13,9	28,7	75,3	83	91,8
	Zone 4 (SO)	13,7	28,6	75	82,5	91,9

Comparaison 1

**Comparaison 2**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]				
		15 [C°]	18 [C°]	30 [C°]	32 [C°]	34 [C°]
<b>S3b_110 P</b>	Zone 1 (NE)	21,7	33	72,8	78,3	85,7
	Zone 2 (NO)	22,1	33,3	72,8	78,4	85,8
	Zone 3 (SE)	17,3	30	72,3	78	84,9
	Zone 4 (SO)	18	30,3	72,4	78,1	85
<b>S2b_50 P</b>	Zone 1 (NE)	16,3	28,4	67,2	73,5	79,1
	Zone 2 (NO)	15,2	27,3	65,3	71,3	77
	Zone 3 (SE)	9,5	23,7	63,3	70,6	76,5
	Zone 4 (SO)	6	19,9	63,3	71,8	78,3
<b>S1b_40 P</b>	Zone 2 (NO)	21,8	33,7	74,6	81,4	90
<b>S1b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	9,7	23,8	62,9	69,5	75,4
	Zone 2 (NO)	13,5	26,6	65,4	71,2	77,2
	Zone 3 (SE)	4	16,1	61	67,9	75,6
	Zone 4 (SO)	7,1	20,4	61,8	68,4	75,6
<b>S2b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	15,2	28,2	68	74,8	81,2
	Zone 2 (NO)	16,6	29,1	68,5	74,3	80,8
	Zone 3 (SE)	11,2	25,1	66,1	73,3	79,9
	Zone 4 (SO)	8,7	23,1	67,2	74,9	82
<b>S2b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	13,6	26,5	65,2	71,5	77,1
	Zone 2 (NO)	14,1	26,9	65,4	72	77,8
	Zone 3 (SE)	7,7	21,9	63,1	70,7	77,2
	Zone 4 (SO)	9,1	22,6	63,3	70,5	76,9
<b>S3b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	14,6	27,1	67	73,6	79,2
	Zone 2 (NO)	14,3	26,9	66,9	73,6	79,1
	Zone 3 (SE)	13,7	26,6	66,7	73,5	79,1
	Zone 4 (SO)	13,4	26,4	66,6	73,5	79,1
<b>S3b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	6,4	21,1	62,2	69,8	76,3
	Zone 2 (NO)	4,7	19,1	61,5	69,1	75,9
	Zone 3 (SE)	6,1	20,5	61,1	68,3	74,8
	Zone 4 (SO)	4,8	18,5	59,3	66,1	73,2
<b>S4b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	8	22,6	63,2	70,8	77,1
	Zone 2 (NO)	4,8	18,7	62,3	70,1	76,9
	Zone 3 (SE)	8,3	22,5	62	69,2	75,1
	Zone 4 (SO)	6,6	21,2	61,5	68,8	75,1

## Comparaison 2

**Comparaison 3**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]				
		15 [C°]	18 [C°]	30 [C°]	32 [C°]	34 [C°]
<b>S3c_110 P</b>	Zone 1 (NE)	21,3	33	72,3	78,7	85,5
	Zone 2 (NO)	21,6	33,3	72,4	78,7	85,5
	Zone 3 (SE)	17,9	30,5	71,7	78,3	84,7
	Zone 4 (SO)	18,3	30,7	71,9	78,3	84,8
<b>S2c_50 P</b>	Zone 1 (NE)	22	33,5	73,9	80,3	88,7
	Zone 2 (NO)	20	31,8	70,7	76,6	83,4
	Zone 3 (SE)	16,5	28,8	70,1	76	82,6
	Zone 4 (SO)	12,9	26,9	71,2	78,1	84,6
<b>S1c_40 P</b>	Zone 2 (NO)	21	32,7	73	79,5	87,1
<b>S1c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	10,4	24,3	63,2	70	75,7
	Zone 2 (NO)	12	25,4	64	70,3	76,2
	Zone 3 (SE)	6	20,1	61,9	69,3	76,2
	Zone 4 (SO)	6,3	20	61,4	68,6	75,3
<b>S2c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	15,8	28,3	68,4	74,6	81,3
	Zone 2 (NO)	15,9	28,2	67,2	73,2	79,4
	Zone 3 (SE)	10	24,3	64,5	72,2	78,7
	Zone 4 (SO)	7,9	21,7	65,9	73,6	80,4
<b>S2c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	4	22,7	64,7	73,3	79,3
	Zone 2 (NO)	4,2	22,9	64,8	73,1	79,5
	Zone 3 (SE)	0,9	15,6	63,4	72,4	79,3
	Zone 4 (SO)	1,8	18	65,8	74,2	81,8
<b>S3c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	20,1	33,1	78,4	86,9	96,1
	Zone 2 (NO)	8,5	23,7	73,5	80,7	90,2
	Zone 3 (SE)	18,1	31,3	74,7	82,1	91,4
	Zone 4 (SO)	17,3	30,4	74,7	82,1	91,5
<b>S3c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	4,2	18,1	59,2	65,8	73,1
	Zone 2 (NO)	3,2	15,8	58,4	65	72,8
	Zone 3 (SE)	4	17,5	58	64,5	71,6
	Zone 4 (SO)	4,3	18,2	58,2	64,6	71,7
<b>S4c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	5,4	19,9	60,1	66,9	73,6
	Zone 2 (NO)	2,8	15,3	59,1	65,7	73,3
	Zone 3 (SE)	5,6	20	59	65,4	71,8
	Zone 4 (SO)	3,3	15,5	56,3	62,9	69,9

## Comparaison 3

**Comparaison 4**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]				
		15 [C°]	18 [C°]	30 [C°]	32 [C°]	34 [C°]
<b>S3d_110 P</b>	Zone 1 (NE)	21,6	33,1	71,4	77,8	84,6
	Zone 2 (NO)	21,8	33,4	71,6	78	84,8
	Zone 3 (SE)	17,9	30,4	70,9	77,5	84
	Zone 4 (SO)	18,4	30,6	70,9	77,6	84,1
<b>S3d_50 P</b>	Zone 1 (NE)	21,6	33	73,4	79,7	87,7
	Zone 2 (NO)	21,1	32,5	71,5	77,7	84,7
	Zone 3 (SE)	18,5	30,9	71,1	77,3	84,1
	Zone 4 (SO)	14,6	27,9	72,6	79,1	86,3
<b>S1d_40 P</b>	Zone 2 (NO)	20,9	32,6	72,8	79,2	86,8
<b>S1d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	10,8	24,6	63,2	69,9	75,5
	Zone 2 (NO)	11	24,5	62,8	69,2	75
	Zone 3 (SE)	12,9	26	66,9	73,2	80,5
	Zone 4 (SO)	5,1	17,8	60,5	67,3	74,6
<b>S2d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	15,8	28,3	68,1	74,3	80,8
	Zone 2 (NO)	15,8	28,2	67,1	73,1	79,2
	Zone 3 (SE)	9,6	19,5	64,2	71,8	78,5
	Zone 4 (SO)	7,8	21,6	65,6	73,2	80
<b>S3d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	5	17,3	57,8	64,5	70,8
	Zone 2 (NO)	0,9	6,8	54,8	61,4	68,6
	Zone 3 (SE)	2,5	12,5	54	60,6	66,9
	Zone 4 (SO)	4	15,3	54,9	61,3	67,5
<b>S4d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	4,7	16,7	56,1	62,8	68,5
	Zone 2 (NO)	5,3	17,9	57,1	63,8	69,8
	Zone 3 (SE)	1,2	8,4	53,7	60,2	67,4
	Zone 4 (SO)	2	10,7	54	60,4	67,1
<b>S3d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	4,6	18,9	59,5	66,2	73,4
	Zone 2 (NO)	3,5	16,8	58,8	65,4	73,1
	Zone 3 (SE)	4,4	18,3	58,4	64,9	72,1
	Zone 4 (SO)	4,7	19,1	58,7	65,2	72,1
<b>S4d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	6,3	20,4	60	66,8	73,6
	Zone 2 (NO)	3,5	15,8	58,6	65,1	72,7
	Zone 3 (SE)	6,5	20,3	58,8	65,2	71,4
	Zone 4 (SO)	5,1	18,3	57,9	64,4	71

## Comparaison 4

**Comparaison 5**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]				
		15 [C°]	18 [C°]	30 [C°]	32 [C°]	34 [C°]
<b>S4e_50 P</b>	Zone 1 (NE)	20,8	32,6	72,3	78,9	86,2
	Zone 2 (NO)	20,5	32,1	70,4	76,5	83,4
	Zone 3 (SE)	17,1	29,4	69,5	75,9	83,1
	Zone 4 (SO)	20,5	32,1	70,4	76,5	83,4
<b>S1e_40 P</b>	Zone 2 (NO)	21	32,9	72,4	79	86,3
<b>S1e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	12,1	25,6	64	70,2	76,2
	Zone 2 (NO)	13,2	26,2	64,3	70,3	76,3
	Zone 3 (SE)	8,3	22,1	62,8	69,7	76,5
	Zone 4 (SO)	8,1	21,4	62,1	68,7	75,8
<b>S2e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	16	28,7	67,2	73,4	79,8
	Zone 2 (NO)	16,1	28,6	67	73,3	79,3
	Zone 3 (SE)	9,6	23,5	64,5	71,9	78,6
	Zone 4 (SO)	9,5	22,8	65,2	72,4	79,2
<b>S5e_80 S</b>	Zone 1 (NE)	14,2	27,3	67,3	73,8	80
	Zone 2 (NO)	14,9	27,7	67,5	73,9	80,2
	Zone 3 (SE)	12,2	26,1	66,9	73,8	80,1
	Zone 4 (SO)	13,3	26,7	67,1	73,7	80

Comparaison 5

**Température opérative (To)****Comparaison 1**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]			
		20 [C°]	22 [C°]	24 [C°]	26 [C°]
<b>S1a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	44,2	49,7	57,7	65,1
	Zone 2 (NO)	44,1	49,8	57,6	65
	Zone 3 (SE)	38,9	47,7	54,9	62
	Zone 4 (SO)	39,1	47,6	54,6	61,7
<b>S2a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	36,7	44	50,3	58,7
	Zone 2 (NO)	37,2	44,4	50,7	58,8
	Zone 3 (SE)	31,9	39,2	48,1	56,1
	Zone 4 (SO)	32,1	40,2	48,5	56,1
<b>S1a_50 P</b>	Zone 1 (NE)	35,5	41,8	48,5	54,9
	Zone 2 (NO)	35,3	41,2	47,5	53,8
	Zone 3 (SE)	32,2	37,4	44,2	51,3
	Zone 4 (SO)	30,6	37,5	45,1	52,2
<b>S1a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	41,5	49	56,8	64,5
	Zone 2 (NO)	42,5	49,6	57,6	65,2
	Zone 3 (SE)	38,4	47,1	54,6	62,4
	Zone 4 (SO)	39,4	47,6	55	62,9
<b>S2a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	38,4	45,8	52,5	59,9
	Zone 2 (NO)	42,4	49,3	57	64,7
	Zone 3 (SE)	39	47,1	54,5	62,4
	Zone 4 (SO)	39,2	47,6	55,3	63,2
<b>S1a_90 S</b>	Zone 1 (NE)	39,8	47,3	54,3	61,9
	Zone 2 (NO)	40,5	47,7	54,5	62,2
	Zone 3 (SE)	40,2	48,7	56,3	64,2
	Zone 4 (SO)	41,1	49,1	56,6	64,6
<b>S1a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	42,9	50	57,8	65,6
	Zone 2 (NO)	43,4	50,2	58,1	66
	Zone 3 (SE)	42	49,6	57,3	65,1
	Zone 4 (SO)	42,5	49,8	57,5	65,3
<b>S2a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	41,2	48,3	55,7	63,6
	Zone 2 (NO)	41,1	48	55,4	63,3
	Zone 3 (SE)	37,7	45,6	53,3	60,9
	Zone 4 (SO)	37,3	45,1	53	60,6

Comparaison 1

**Comparaison 2**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]			
		20 [C°]	22 [C°]	24 [C°]	26 [C°]
<b>S3b_110 P</b>	Zone 1 (NE)	38,6	46,3	51,9	59,9
	Zone 2 (NO)	39,1	46,5	52	60
	Zone 3 (SE)	36,6	44,9	50,7	57,8
	Zone 4 (SO)	36,8	45,1	50,8	57,9
<b>S2b_50 P</b>	Zone 1 (NE)	35,6	41,8	47,9	53,8
	Zone 2 (NO)	35	39,8	46,6	51,8
	Zone 3 (SE)	32,3	36,8	44,3	50,2
	Zone 4 (SO)	28,9	35,6	43,7	50,8
<b>S1b_40 P</b>	Zone 2 (NO)	40,2	47,6	53,9	61,1
<b>S1b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	32,4	36,9	43,3	49,8
	Zone 2 (NO)	34,3	39,3	46,2	52
	Zone 3 (SE)	26,1	33,3	40	47,4
	Zone 4 (SO)	29,2	35,6	42	48,9
<b>S2b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	29,2	35,6	42,1	48,7
	Zone 2 (NO)	35,9	42,1	48,5	55,1
	Zone 3 (SE)	33,8	38,5	46	52,8
	Zone 4 (SO)	31,8	38,7	46,7	53,7
<b>S2b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	34,3	39	46,2	51,7
	Zone 2 (NO)	34,8	39,8	46,7	52,2
	Zone 3 (SE)	30,7	36,4	43,7	50,2
	Zone 4 (SO)	31,1	36,8	43,9	50,4
<b>S3b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	34,9	40,6	47,5	53,3
	Zone 2 (NO)	34,8	40,4	47,5	53,3
	Zone 3 (SE)	34,5	40	47,1	53,2
	Zone 4 (SO)	34,3	39,8	47,2	53
<b>S3b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	30	36	43,5	49,7
	Zone 2 (NO)	28,5	35,1	42,2	49,2
	Zone 3 (SE)	29,5	35,6	42	48,6
	Zone 4 (SO)	28,1	34,8	40,6	47,3
<b>S4b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	31,5	36,7	44,5	50,3
	Zone 2 (NO)	28,4	35,2	42,8	49,7
	Zone 3 (SE)	31,5	36,3	43,1	49,1
	Zone 4 (SO)	29,6	35,6	42,4	48,9

## Comparaison 2

**Comparaison 3**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]			
		20 [C°]	22 [C°]	24 [C°]	26 [C°]
<b>S3c_110 P</b>	Zone 1 (NE)	38,6	46,4	52,2	59,6
	Zone 2 (NO)	39	46,7	52,4	59,7
	Zone 3 (SE)	36,5	44,5	50,9	58,2
	Zone 4 (SO)	36,8	45,1	51,1	58,1
<b>S2c_50 P</b>	Zone 1 (NE)	40	47,4	53,3	60,8
	Zone 2 (NO)	37	44,9	50,4	57,6
	Zone 3 (SE)	35,7	42,5	49,3	56,3
	Zone 4 (SO)	34,4	42,2	49,9	56,3
<b>S1c_40 P</b>	Zone 2 (NO)	38,5	46,7	52,4	60
<b>S1c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	33	37,3	44,7	50,2
	Zone 2 (NO)	33,6	38,2	45,4	50,8
	Zone 3 (SE)	29,3	35,5	42,2	49,3
	Zone 4 (SO)	29,2	35,4	41,9	49,1
<b>S2c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	35,5	42	48,6	55,1
	Zone 2 (NO)	35,4	41,4	47,6	54
	Zone 3 (SE)	32,7	37,7	44,7	51,5
	Zone 4 (SO)	30,6	37,6	45,5	52,6
<b>S2c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	30,7	39,1	46,3	53,2
	Zone 2 (NO)	30,8	39,2	46,5	53,3
	Zone 3 (SE)	27,2	34,9	44,1	52,3
	Zone 4 (SO)	29	37,2	46,5	53,9
<b>S3c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	33,6	38,1	46	51,3
	Zone 2 (NO)	33,5	37,9	45,9	51,3
	Zone 3 (SE)	33,1	37,6	45,7	51,1
	Zone 4 (SO)	33	37,5	45,7	50,9
<b>S3c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	27,3	34,3	39,8	47
	Zone 2 (NO)	25,4	33,1	38,5	46,4
	Zone 3 (SE)	26,5	33,8	38,4	46
	Zone 4 (SO)	27,1	34,1	38,8	46,3
<b>S4c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	28,6	35,2	41	47,8
	Zone 2 (NO)	25,2	32,9	38,9	46,6
	Zone 3 (SE)	28,5	35	39,6	46,6
	Zone 4 (SO)	25	32,5	37,3	44,6

## Comparaison 3

**Comparaison 4**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]			
		20 [C°]	22 [C°]	24 [C°]	26 [C°]
<b>S3d_110 P</b>	Zone 1 (NE)	38,2	45,8	51,7	58,8
	Zone 2 (NO)	38,6	46,3	51,8	59
	Zone 3 (SE)	36,2	43,7	50,2	57,2
	Zone 4 (SO)	36,5	44,2	50,4	57,2
<b>S3d_50 P</b>	Zone 1 (NE)	39,3	46,9	52,9	60,4
	Zone 2 (NO)	37,9	45,8	51,2	58,6
	Zone 3 (SE)	36,3	44,3	50,1	57,5
	Zone 4 (SO)	35,4	43,8	50,8	57,6
<b>S1d_40 P</b>	Zone 2 (NO)	38,3	46,5	52,2	59,9
<b>S1d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	33	37,6	44,6	50,1
	Zone 2 (NO)	32,8	37,4	44,2	49,9
	Zone 3 (SE)	34	38,6	46,6	52,8
	Zone 4 (SO)	27,5	34,2	40,6	48
<b>S2d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	35,5	41,8	48,5	54,9
	Zone 2 (NO)	35,3	41,2	47,5	53,8
	Zone 3 (SE)	32,2	37,4	44,2	51,3
	Zone 4 (SO)	30,6	37,5	45,1	52,2
<b>S3d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	33,5	37,9	45,9	51,2
	Zone 2 (NO)	33,4	37,8	45,8	51,1
	Zone 3 (SE)	33,1	37,5	45,6	50,9
	Zone 4 (SO)	32,9	37,4	45,5	50,8
<b>S4d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	26,2	32,6	37,9	43,6
	Zone 2 (NO)	27,2	33,8	39,1	45
	Zone 3 (SE)	17,1	26,4	33,6	39,9
	Zone 4 (SO)	19,6	27,9	34,5	41,1
<b>S3d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	27,9	34,7	40,4	47,5
	Zone 2 (NO)	26,2	33,5	39,1	46,9
	Zone 3 (SE)	27,3	34,2	38,9	46,4
	Zone 4 (SO)	27,8	34,6	39,5	46,8
<b>S4d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	29,1	35,4	41,3	47,9
	Zone 2 (NO)	25,5	32,8	38,8	46
	Zone 3 (SE)	28,9	35,1	39,8	46,6
	Zone 4 (SO)	27,3	34	39,1	45,9

## Comparaison 4

**Comparaison 5**

Logement	Zone	Pourcentages cumulés [%]			
		20 [C°]	22 [C°]	24 [C°]	26 [C°]
<b>S4e_50 P</b>	Zone 1 (NE)	38,7	46,1	52,2	59,4
	Zone 2 (NO)	37,6	44,5	50,7	57,6
	Zone 3 (SE)	36	42,4	49,4	56,2
	Zone 4 (SO)	37,6	44,5	50,7	57,6
<b>S1e_40 P</b>	Zone 2 (NO)	38,5	46,6	52,3	59,7
<b>S1e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	33,4	38,3	45,1	51
	Zone 2 (NO)	33,9	38,7	45,6	51,4
	Zone 3 (SE)	30,8	36,5	43,2	50
	Zone 4 (SO)	30,2	36,2	42,6	49,6
<b>S2e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	35,5	41,6	48,2	54,6
	Zone 2 (NO)	35,5	41,6	47,9	54,1
	Zone 3 (SE)	31,5	37,6	44,2	51,5
	Zone 4 (SO)	30,7	37,9	44,7	52,1
<b>S5e_80 S</b>	Zone 1 (NE)	34,8	40,9	47,7	54,1
	Zone 2 (NO)	35,2	41,2	47,9	54,3
	Zone 3 (SE)	34	40	47,1	53,7
	Zone 4 (SO)	34,4	40,4	47,5	53,8

**Comparaison 5**

**Éclairage naturel utile (UDI)****Comparaison 1**

Logement	Zone	UDI < 100 [%]	UDI 100 - 2000 [%]	UDI > 2000 [%]
<b>S1a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	4,00	1,00	95,00
	Zone 2 (NO)	0,00	1,00	99,00
	Zone 3 (SE)	4,00	1,00	95,00
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S2a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	3,01	93,04	3,97
	Zone 3 (SE)	1,90	83,90	14,22
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1a_50 P</b>	Zone 1 (NE)	3,67	93,76	2,58
	Zone 2 (NO)	10,18	87,44	2,41
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	7,06	87,34	5,60
	Zone 2 (NO)	8,25	84,98	6,77
	Zone 3 (SE)	0,00	25,77	74,23
	Zone 4 (SO)	2,61	88,15	9,24
<b>S2a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	17,15	79,32	3,53
	Zone 2 (NO)	8,13	85,52	6,35
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	3,92	83,70	12,38
<b>S1a_90 S</b>	Zone 1 (NE)	5,76	89,22	5,03
	Zone 2 (NO)	5,08	89,58	5,34
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	3,48	85,90	10,65
<b>S1a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	58,78	40,74	0,48
	Zone 2 (NO)	54,49	44,81	0,71
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	35,54	61,44	3,04
<b>S2a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00

Comparaison 1

**Comparaison 2**

Logement	Zone	UDI < 100 [%]	UDI 100 - 2000 [%]	UDI > 2000 [%]
<b>S3b_110 P</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	35,93	62,02	2,06
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S2b_50 P</b>	Zone 1 (NE)	51,85	46,68	1,47
	Zone 2 (NO)	51,85	46,52	1,64
	Zone 3 (SE)	36,56	60,55	2,90
	Zone 4 (SO)	34,81	62,00	3,18
<b>S1b_40 P</b>	Zone 2 (NO)	16,48	80,56	2,95
<b>S1b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	12,58	84,99	2,43
	Zone 2 (NO)	10,03	87,12	2,85
	Zone 3 (SE)	5,84	89,18	4,98
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S2b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	6,33	82,13	11,54
	Zone 2 (NO)	10,55	86,45	3,00
	Zone 3 (SE)	9,67	87,35	2,98
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S2b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	3,01	85,63	11,40
<b>S3b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	10,88	86,59	2,53
	Zone 2 (NO)	10,38	86,88	2,74
	Zone 3 (SE)	6,52	88,58	4,88
	Zone 4 (SO)	6,55	88,19	5,24
<b>S3b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	10,92	85,92	3,17
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	6,59	87,16	6,26
<b>S4b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	25,47	71,16	3,38
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	12,75	80,36	6,88

## Comparaison 2

**Comparaison 3**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>UDI &lt; 100 [%]</b>	<b>UDI 100 - 2000 [%]</b>	<b>UDI &gt; 2000 [%]</b>
<b>S3c_110 P</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	35,71	62,24	2,05
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S2c_50 P</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	3,00	0,00	97,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1c_40 P</b>	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	7,12	88,53	4,35
	Zone 2 (NO)	2,76	92,12	5,12
	Zone 3 (SE)	5,50	85,54	8,96
	Zone 4 (SO)	5,07	83,42	11,51
<b>S2c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	6,00	89,26	4,74
	Zone 2 (NO)	1,46	93,31	5,23
	Zone 3 (SE)	6,93	83,21	9,86
	Zone 4 (SO)	6,79	79,95	13,26
<b>S2c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	4,93	90,54	4,57
	Zone 2 (NO)	4,31	90,69	4,99
	Zone 3 (SE)	3,75	86,53	9,76
	Zone 4 (SO)	3,07	86,43	10,53
<b>S3c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	11,03	82,46	6,49
	Zone 2 (NO)	4,00	1,00	95,00
	Zone 3 (SE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S3c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	12,13	85,04	2,84
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	7,36	86,88	5,76
	Zone 4 (SO)	6,61	87,13	6,28
<b>S4c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	25,09	71,55	3,36
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	12,82	80,33	6,89

**Comparaison 3**

**Comparaison 4**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>UDI &lt; 100 [%]</b>	<b>UDI 100 - 2000 [%]</b>	<b>UDI &gt; 2000 [%]</b>
<b>S3d_110 P</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	35,60	62,32	2,09
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	21,81	72,99	5,19
<b>S3d_50 P</b>	Zone 1 (NE)	38,17	59,72	2,09
	Zone 2 (NO)	34,81	62,90	2,29
	Zone 3 (SE)	24,53	70,93	4,55
	Zone 4 (SO)	22,53	72,60	4,86
<b>S1d_40 P</b>	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	1,00	99,00
	Zone 3 (SE)	4,00	1,00	95,00
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S2d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	1,62	87,67	10,71
	Zone 2 (NO)	0,56	94,53	4,91
	Zone 3 (SE)	9,09	81,96	8,95
	Zone 4 (SO)	6,65	79,23	14,12
<b>S3d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	1,00	99,00
	Zone 3 (SE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 4 (SO)	4,00	1,00	95,00
<b>S4d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	4,00	1,00	95,00
	Zone 2 (NO)	0,00	1,00	99,00
	Zone 3 (SE)	15,00	8,00	77,00
	Zone 4 (SO)	0,00	1,00	99,00
<b>S3d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	12,08	85,05	2,86
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	6,58	87,16	6,27
<b>S4d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	31,02	66,74	2,24
	Zone 2 (NO)	25,00	71,63	3,40
	Zone 3 (SE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00

**Comparaison 4**

**Comparaison 5**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>UDI &lt; 100 [%]</b>	<b>UDI 100 - 2000 [%]</b>	<b>UDI &gt; 2000 [%]</b>
<b>S4e_50 P</b>	Zone 1 (NE)	44,25	54,38	1,37
	Zone 2 (NO)	45,60	52,88	1,52
	Zone 3 (SE)	68,39	29,73	1,88
	Zone 4 (SO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1e_40 P</b>	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
<b>S1e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	9,09	87,53	3,38
	Zone 2 (NO)	3,12	91,43	5,45
	Zone 3 (SE)	21,67	69,99	8,34
	Zone 4 (SO)	1,22	86,44	12,34
<b>S2e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 2 (NO)	4,00	1,00	95,00
	Zone 3 (SE)	0,00	1,00	99,00
	Zone 4 (SO)	4,00	1,00	95,00
<b>S5e_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,00	0,00	99,00
	Zone 2 (NO)	0,00	0,00	99,00
	Zone 3 (SE)	31,70	64,55	3,77
	Zone 4 (SO)	28,84	66,86	4,35

Comparaison 5

**Autre indices FLJ, DA , DAcon, DSP****Comparaison 1**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>FLJ [%]</b>	<b>DA [%]</b>	<b>DAcon [%]</b>	<b>DSP [%]</b>
<b>S1a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2a_110 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	2,61	41,53	78,46	56,07
	Zone 3 (SE)	2,61	76,07	91,66	72,92
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1a_50 P</b>	Zone 1 (NE)	1,94	41,52	76,74	56,40
	Zone 2 (NO)	1,38	16,59	56,46	19,20
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2a_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1a_90 S</b>	Zone 1 (NE)	2,21	26,49	65,46	33,38
	Zone 2 (NO)	2,22	30,91	68,03	31,87
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	2,22	53,13	81,41	53,70
<b>S1a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	0,57	5,96	26,59	7,95
	Zone 2 (NO)	0,56	6,23	27,90	7,02
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	0,56	11,23	36,83	10,51
<b>S2a_80 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00

**Comparaison 1**

**Comparaison 2**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>FLJ [%]</b>	<b>DA [%]</b>	<b>DAcon [%]</b>	<b>DSP [%]</b>
<b>S3b_110 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,38	15,52	43,00	19,24
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2b_50 P</b>	Zone 1 (NE)	0,76	6,47	27,92	7,09
	Zone 2 (NO)	0,76	6,80	28,58	6,76
	Zone 3 (SE)	0,76	9,94	37,69	11,91
	Zone 4 (SO)	0,76	10,57	39,17	11,14
<b>S1b_40 P</b>	Zone 2 (NO)	1,39	16,00	47,57	16,39
<b>S1b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2b_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	2,35	57,35	83,37	56,23
<b>S3b_90 S</b>	Zone 1 (NE)	1,38	12,46	51,67	16,24
	Zone 2 (NO)	1,39	13,59	53,04	14,09
	Zone 3 (SE)	1,39	28,46	68,99	46,18
	Zone 4 (SO)	1,38	31,64	70,16	39,18
<b>S3b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,41	19,49	56,66	21,70
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	1,40	35,18	70,82	39,90
<b>S4b_80 S</b>	Zone 1 (NE)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,26	16,89	46,82	16,70
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	1,26	26,29	58,96	27,89

**Comparaison 2**

**Comparison 3**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>FLJ [%]</b>	<b>DA [%]</b>	<b>DAcon [%]</b>	<b>DSP [%]</b>
<b>S3c_110 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,38	15,33	42,93	19,03
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2c_50 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	97,00	97,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1c_40 P</b>	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2c_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	96,00	96,00	0,00
<b>S2c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	2,02	26,84	66,90	34,70
	Zone 2 (NO)	2,03	31,75	69,85	34,26
	Zone 3 (SE)	2,02	48,06	79,85	60,88
	Zone 4 (SO)	2,02	52,78	82,20	54,75
<b>S3c_90 S</b>	Zone 1 (NE)	1,38	25,02	65,89	39,18
	Zone 2 (NO)	99,87	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S3c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	1,41	18,10	54,52	22,89
	Zone 2 (NO)	99,86	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	1,41	32,10	68,78	45,42
	Zone 4 (SO)	1,41	35,42	70,92	40,19
<b>S4c_80 S</b>	Zone 1 (NE)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,26	16,97	46,95	16,86
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	1,25	26,07	58,86	27,78

**Comparison 3**

**Comparaison 4**

<b>Logement</b>	<b>Zone</b>	<b>FLJ [%]</b>	<b>DA [%]</b>	<b>DAcon [%]</b>	<b>DSP [%]</b>
<b>S3d_110 P</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	1,38	15,37	43,08	19,05
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	1,38	25,35	54,10	23,20
<b>S3d_50 P</b>	Zone 1 (NE)	1,14	12,47	40,13	16,05
	Zone 2 (NO)	1,14	12,98	41,68	14,31
	Zone 3 (SE)	1,14	22,22	51,53	28,94
	Zone 4 (SO)	1,14	23,74	53,03	25,37
<b>S1d_40 P</b>	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2d_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S3d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,86	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	96,00	96,00	0,00
<b>S4d_90 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	85,00	85,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S3d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	1,41	18,02	54,53	22,80
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	1,41	35,73	71,01	40,38
<b>S4d_80 S</b>	Zone 1 (NE)	1,26	12,76	41,00	15,44
	Zone 2 (NO)	1,27	16,97	46,90	16,71
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00

## Comparaison 4

**Comparaison 5**

Logement	Zone	FLJ [%]	DA [%]	DAcon [%]	DSP [%]
<b>S4e_50 P</b>	Zone 1 (NE)	0,81	6,37	31,09	7,40
	Zone 2 (NO)	0,80	6,66	31,49	6,73
	Zone 3 (SE)	0,81	5,72	20,06	14,83
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1e_40 P</b>	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S1e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	100,00	100,00	0,00
<b>S2e_220 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,88	96,00	96,00	0,00
	Zone 3 (SE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 4 (SO)	99,88	96,00	96,00	0,00
<b>S5e_80 S</b>	Zone 1 (NE)	99,88	100,00	100,00	0,00
	Zone 2 (NO)	99,87	100,00	100,00	0,00
	Zone 3 (SE)	0,75	12,87	38,93	13,63
	Zone 4 (SO)	0,76	13,82	40,78	11,67

Comparaison 5

**Validation expérimentale**

Cité	CTo	CLo	CTs	CLs
<b>110P</b>	54,56	79,06	56,76	64,87
<b>50P</b>	53,22	43,95	36,57	73,00
<b>40P</b>	52,03	79,00	67,40	86,96
<b>220S</b>	54,64	98,40	45,12	71,34
<b>90S</b>	55,58	68,27	48,87	74,85
<b>80S</b>	55,34	60,00	48,25	62,29

Variations des zones du confort thermique et lumineux d'après l'évaluation objective et subjective en fonction de chaque cité

Type de logement	CTo	CLo	CTs	CLs
<b>Logements promotionnels</b>	53,27	67,34	53,57	74,94
<b>Logements sociaux</b>	55,18	75,56	47,41	69,49

Variations des zones du confort thermique et lumineux d'après l'évaluation objective et subjective en fonction de chaque type de logement