

---

**Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : La prise en compte des genres dans la perception du confort thermique en période hivernale : révision d'une enquête standardisée**

**Auteur :** Bartholomé, Léa

**Promoteur(s) :** Attia, Shady

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

**Année académique :** 2023-2024

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/20482>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



Université de Liège  
Faculté des Sciences Appliquées

---

# **La prise en compte des genres dans la perception du confort thermique en période hivernale : révision d'une enquête standardisée**

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du  
grade de master Ingénieur Civil Architecte par  
**Léa Bartholomé**

Promoteur : Pr. ATTIA Shady - SBD Lab

Jury : Pr. COOLS Mario  
Pr. ELSEN Catherine

*Année académique 2023-2024*

# Abstract

The target audience for this work is office users, office owners, architects, architecture students, scientific researchers, building managers and design offices.

The challenges of global warming indicate the urgent need to do more to reduce energy consumption in the building sector. Thermal comfort needs to be considered in conjunction with climate and social issues, in order to provide practical solutions for guaranteeing a comfortable space that is accessible to all and respects the environment. In addition, the history of the consideration of women in scientific research calls into question the validity of the most widespread empirical theories of thermal comfort. Current standards are based on these empirical theories, but give no indication of how gender should be taken into account in the equations.

Given these findings, the research is based on an approach centered on carrying out a well-being survey. The objectives are, firstly, to assess the difference in perception of thermal comfort between the genders in winter in open-plan office spaces. Secondly, to assess the relevance of incorporating gender differences more fully into a standardized questionnaire used as a reference (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020). The data collection is organized around a quantitative and a qualitative part. The physical parameters of the workspace (temperature, air speed and humidity) are assessed using a specific measuring device. This is the quantitative part. The qualitative part is supported by the survey submitted to the respondents. Statistical analysis of the results provides a conclusive answer to the research question posed, i.e. whether or not it is appropriate to include more parameters intrinsic to gender in the assessment of thermal comfort.

Of the variables tested in relation to thermal comfort, only two showed a significant difference between men and women. These were the thermal sensation expressed on a scale ranging from 'hot' to 'cold' and the respondents' clothing (= thermal insulation of clothing).

These results are the first step in addressing the problem. It is strongly recommended that further, larger-scale research be carried out into the impact of women's intrinsic characteristics on their thermal comfort. This would provide a valid conclusion for thermal comfort theory as to the relevance of taking these parameters into account in questionnaires and empirical equations.

**Key words :** thermal comfort - gender - survey - open space – standards-working conditions

## Résumé de l'étude

L'audience visée par ce travail est constituée des usagers de bureaux, des propriétaires de bureaux, des architectes, des étudiants en architecture, des chercheurs scientifiques, des gestionnaires de bâtiment et des bureaux d'étude.

Les enjeux du réchauffement climatique indiquent l'urgence d'agir davantage dans la diminution des consommations énergétiques du secteur du bâtiment. Le confort thermique doit être pensé conjointement aux enjeux climatiques et sociaux afin de fournir des solutions concrètes qui garantissent un espace confortable, accessible à tous et respectueux de l'environnement. De plus, dans la recherche scientifique, l'historique de la non-prise en compte de la femme interroge la validité des théories empiriques du confort thermique les plus répandues. Les normes actuelles se basent sur ces théories empiriques, mais n'apportent aucune indication vis-à-vis de la prise en considération du sexe dans les équations.

Face à ces constats, la recherche s'articule autour d'une approche centrée sur la réalisation d'une enquête de bien-être. Les objectifs sont d'une part d'évaluer la différence de la perception du confort thermique entre les genres, en hiver, dans des espaces de bureaux paysagers (open space). D'autre part, l'objectif est également d'évaluer la pertinence d'intégrer davantage les différences de genre dans un questionnaire standardisé servant de référence (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020).

La collecte de données est organisée autour d'une partie quantitative et d'une partie qualitative. L'espace de travail fait l'objet d'une évaluation de ses paramètres physiques (température, vitesse et humidité de l'air) via un appareil de mesure spécifique. Il s'agit de la partie quantitative. Quant à la partie qualitative, elle est soutenue par l'enquête soumise aux répondants.

L'analyse statistique des résultats permet de fournir une réponse concluante à la question de recherche posée soit la pertinence d'intégrer ou non davantage de paramètres intrinsèques aux sexes dans l'évaluation du confort thermique.

Parmi les variables testées en lien avec le confort thermique, seules deux d'entre elles ont montré une différence significative entre les hommes et les femmes. Il s'agit de la sensation thermique exprimée sur une échelle allant de « chaud » à « froid » et l'habillement (=isolation thermique des vêtements) des répondants.

Ces résultats constituent l'amorce d'une première démarche issue de la problématique énoncée. Une recherche à plus grande échelle de l'impact des caractéristiques intrinsèques aux femmes sur leur confort thermique permettrait de fournir une conclusion valide. Elle affinerait la théorie du confort thermique quant à la pertinence de prendre systématiquement en considération ces paramètres dans les questionnaires et les équations empiriques.

**Mots clés** : confort thermique, genre, enquête, open space, normes, conditions de travail

# Remerciements

Une part de ce travail revient à l'ensemble des acteurs qui ont contribué depuis presque deux ans à la construction progressive d'une recherche qui fait sens à mes yeux.

Je tiens à remercier en premier lieu mon promoteur, **Shady Attia**, sans qui ce travail n'aurait pas eu la même précision et la même rigueur scientifique. Je le remercie particulièrement pour son encadrement, mais aussi sa confiance accordée dans le prêt d'un matériel précieux pour l'étude.

Ensuite, je tiens à remercier chaleureusement **Stéphane Marville** et son collègue **Guy Lardinois** qui m'ont ouvert les portes de l'**entreprise Greisch** avec beaucoup de bienveillance et de soutien. Je remercie également l'ensemble des participants de l'étude qui ont manifesté un intérêt précieux dans la participation active à l'enquête. Je me suis sentie particulièrement bien accueillie dans les locaux de l'équipe.

Merci à **Catherine Elsen** et **Mario Cools** de l'intérêt manifesté pour le sujet de la recherche, de l'aide apportée au travers des rendez-vous et du temps qu'ils ont consacré à lire ces pages.

Merci aussi à tous les participants à l'enquête pilote qui ont contribué à la qualité de l'enquête finale. En particulier, merci à **Adrien, Trystan, Anaïs, Damien, Célia, Alixia et mes parents** pour leurs retours complets et riches d'expertises variées. Merci en particulier du temps qu'ils m'ont accordé à ce moment important de l'étude.

Enfin, les remerciements destinés à mes proches sont difficilement exprimables en si peu de lignes. Merci à **mes amis** de leurs encouragements réconfortants. Ils laisseront à jamais des souvenirs indélébiles qui me rendent déjà nostalgique d'une porte qui se ferme tout doucement. Je remercie **ma famille** de son soutien infaillible dans mon parcours universitaire depuis maintenant 5 ans.

Merci à **mes parents** d'avoir toujours veillé à me rassurer et à m'encourager sans jamais avoir douté un seul instant de mes capacités. Ils m'ont offert le meilleur cadre possible, rempli d'amour et de soutien pour me permettre de m'épanouir au mieux durant ces cinq années d'études. Merci à **Sarah et Nael** de leur écoute, leur présence, leurs conseils, leur bonne humeur et leur amour fraternel qu'ils n'ont jamais cessé de manifester.

Enfin, un merci tendrement affectueux à **Adrien** pour sa présence, ses précieux conseils et son écoute attentive depuis deux ans déjà. Merci pour la patience, la bienveillance et les encouragements manifestés immanquablement à chaque étape du processus. Il a été un véritable pilier dans la réalisation de ce travail.

## Abréviations/acronymes

Laboratoire SBD	<i>Sustainable Building Design Lab</i> = Laboratoire de conception de bâtiments durables
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air-conditioning</i> = Chauffage, Ventilation et Climatisation
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
RGPD	Règlement général pour la protection des données
DMP	Data management plan
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> = Vote moyen prévisible
PPD	<i>Percentage of People Dissatisfied</i> = Pourcentage prévisible d'insatisfaits
IMC	Indice de masse corporelle

# Table des matières

<b>Abstract</b> .....	<b>ii</b>
<b>Résumé de l'étude</b> .....	<b>iii</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abréviations/acronymes</b> .....	<b>v</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>vi</b>
<b>Liste des annexes</b> .....	<b>ix</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>ix</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>xi</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>12</b>
1.1 <i>Contexte et énoncé du problème</i> .....	12
1.2 <i>Pertinence du sujet de recherche</i> .....	13
1.3 <i>Objectifs de la recherche</i> .....	15
1.4 <i>Question de recherche principale et sous-questions de recherche</i> .....	16
1.5 <i>La structure du travail</i> .....	16
<b>2 État de l'art</b> .....	<b>17</b>
2.1 <i>Le confort thermique</i> .....	17
2.1.1 Sa définition et ses paramètres.....	17
2.1.2 La régulation du corps humain .....	18
2.1.3 Les modèles du confort thermique.....	20
2.2 <i>Les différents enjeux liés au confort thermique</i> .....	23
2.2.1 Les enjeux environnementaux et énergétiques .....	23
2.2.2 Les enjeux sociaux .....	25
2.2.3 La variable du genre.....	25
2.3 <i>Le contexte réglementaire</i> .....	26
2.3.1 Le cadre international .....	27
2.3.2 Le cadre européen .....	31
2.3.3 Le cadre belge .....	33
2.4 <i>Les open-spaces</i> .....	33
2.4.1 Sa définition .....	33
2.4.2 Ses enjeux .....	34
2.5 <i>La mise en place d'une enquête de bien-être</i> .....	34
2.6 <i>Études similaires et lacunes dans les connaissances</i> .....	36

2.7	<i>Conclusion</i> .....	46
<b>3</b>	<b>Méthodologie</b> .....	<b>47</b>
3.1	<i>Introduction</i> .....	47
3.2	<i>Description des méthodes de recherche</i> .....	48
3.3	<i>Cadre conceptuel de l'étude</i> .....	48
3.4	<i>Opérationnalisation : variables et indicateurs</i> .....	50
3.5	<i>Le cas d'étude</i> .....	54
3.5.1	L'orientation et les parois .....	54
3.5.2	Le système HVAC en place .....	55
3.6	<i>Préparation</i> .....	56
3.7	<i>Enquête pilote</i> .....	57
3.8	<i>Collecte de données</i> .....	58
3.8.1	Cadre légal .....	58
3.8.2	Consentement éclairé .....	59
3.8.3	Amorce de la récolte de données .....	59
3.8.4	Clôture de la récolte de données .....	62
3.9	<i>Traitement et analyse des données</i> .....	63
3.10	<i>Discussion des résultats</i> .....	71
3.11	<i>Hypothèses de travail, forces et faiblesses</i> .....	72
3.12	<i>Critères de qualité</i> .....	74
<b>4</b>	<b>Résultats : données récoltées</b> .....	<b>77</b>
4.1	<i>Introduction</i> .....	77
4.2	<i>Les mesures hygrothermiques du lieu</i> .....	77
4.3	<i>Les profils des répondants</i> .....	81
4.3.1	Leur genre .....	81
4.3.2	Leur placement.....	83
4.3.3	Leur indice de masse corporel .....	83
4.3.4	Leur habillement .....	84
4.3.5	Leur niveau d'activité .....	85
4.3.6	Leur temps d'occupation dans l'open-space.....	85
4.3.7	Autres caractéristiques .....	85
4.4	<i>Les avis des répondants et leurs perceptions</i> .....	89
4.4.1	La sensation thermique .....	89
4.4.2	Le niveau de confort thermique .....	90
4.4.3	La satisfaction de la température de l'air .....	90
4.4.4	L'application du modèle de Fanger : PMV et PPD .....	91
4.4.5	Les réponses aux affirmations .....	92
4.5	<i>Synthèse des résultats</i> .....	94

4.5.1	Les mesures hygrothermiques du lieu.....	94
4.5.2	Les profils des répondants .....	94
4.5.3	Les avis des répondants et leurs perceptions .....	94
<b>5</b>	<b>Résultats des tests statistiques.....</b>	<b>95</b>
5.1	<i>Introduction.....</i>	95
5.2	<i>Test de la différence entre les genres : sensations thermiques exprimées.....</i>	95
5.2.1	Test de Shapiro-Wilk .....	95
5.2.2	Test U de Mann-Whitney.....	96
5.2.3	Ampleur de l'effet.....	97
5.3	<i>Test de la différence entre les genres : niveau de confort thermique exprimé .....</i>	97
5.3.1	Test de Shapiro-Wilk .....	98
5.3.2	Test U de Mann-Whitney.....	98
5.4	<i>Test de la différence entre les genres : satisfaction de la température .....</i>	99
5.4.1	Test de Shapiro-Wilk .....	99
5.4.2	Test U de Mann-Whitney.....	100
5.5	<i>Résultats complémentaires à l'étude .....</i>	101
5.5.1	Test de la différence entre les genres : l'habillement .....	101
5.5.2	Test de la différence entre les genres : l'IMC.....	102
5.6	<i>Synthèse des résultats .....</i>	104
5.6.1	Le niveau de sensation thermique exprimé.....	104
5.6.2	Le niveau de confort thermique exprimé .....	104
5.6.3	Le niveau de satisfaction thermique exprimé .....	104
5.6.4	L'habillement.....	104
5.6.5	L'indice de masse corporel .....	104
<b>6</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>105</b>
6.1	<i>Introduction.....</i>	105
6.2	<i>Rappel de l'objet de l'étude.....</i>	105
6.3	<i>Constatations et recommandations.....</i>	106
6.3.1	Les résultats des données récoltées.....	106
6.3.2	Les résultats des tests statistiques .....	109
6.4	<i>Forces et limites.....</i>	113
6.4.1	Forces de l'étude .....	114
6.4.2	Limites de l'étude .....	115
6.5	<i>Implications sur la pratique et les travaux futurs.....</i>	117
<b>7</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>118</b>
<b>8</b>	<b>Références.....</b>	<b>120</b>

# Liste des annexes

Annexe 1 : Les 17 objectifs du développement durable.....	ii
Annexe 2 : Questionnaire soumis à l'entreprise.....	iv
Annexe 4 : Questionnaire de l'enquête pilote .....	xvi
Annexe 5 : Fiches descriptives et de consentement .....	xxiii
Annexe 6 : Data Management Plan et application du RGPD .....	xxv
Annexe 7 : Résultats complémentaires.....	xxix
Annexe 8 : Affiche du laboratoire SBD .....	xxxvii

# Liste des figures

Figure 1-1 : Illustration des trois objectifs du développement durable retenus.....	15
Figure 2-1 : Représentation des paramètres du confort thermique .....	17
Figure 2-2 : Échelle de sensation thermique du PMV .....	21
Figure 2-3 : Graphique du PMV selon le PPD (%) (Source : ISO 7730, 2005,p.5) .....	21
Figure 3-1 : Schéma simplifié des cinq phases de la méthodologie appliquée.....	47
Figure 3-2 : Schéma synthétique de la méthodologie appliquée.....	49
Figure 3-3 : Illustration de la sonde utilisée.....	50
Figure 3-4 : Plan du sous-sol des zones du bâtiment étudié.....	54
Figure 3-5 : Histogramme de répartition des répondants selon la zone du bâtiment et le genre .....	55
Figure 3-6 : Schéma synthétique de la phase de préparation .....	56
Figure 3-7 : Schéma synthétique de la phase de l'enquête pilote .....	58
Figure 3-8 : Schéma synthétique de la phase d'amorce de la récolte de données.....	60
Figure 3-9 : Disposition du Testo 480 et périmètre de position des répondants.....	60
Figure 3-10 : Testo 480 placé dans l'open-space étudié.....	62
Figure 3-11 : Schéma synthétique de la phase de clôture de la récolte de données .....	62
Figure 3-12 : Schéma synthétique de la phase de traitement et analyse des données .....	63
Figure 3-13 : Triangulation des données .....	76
Figure 4-1 : Sous-phases traitement et analyse des données .....	77
Figure 4-2 : Graphique d'évolution des températures de l'air, opérative et du taux d'humidité relative de l'air de l'open-space sur la période étudiée .....	79
Figure 4-3 : Graphique d'évolution de la vitesse de l'air de l'open-space sur la période étudiée.....	80
Figure 4-4 : Répartition des genres des répondants.....	81
Figure 4-5 : Répartition des genres selon la soumission de l'enquête.....	82
Figure 4-6 : Histogramme de répartition des répondants selon leur tranche d'âge et leur genre.....	83
Figure 4-7 : Histogramme de répartition des répondants selon leur IMC et leur genre .....	84
Figure 4-8 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur isolation vestimentaire .....	84
Figure 4-9 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau de bien-être mental .....	87

Figure 4-10 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau de concentration .....	88
Figure 4-11 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau d'éveil .....	88
Figure 4-12 : Graphique et histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de sensation thermique exprimé.....	89
Figure 4-13 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de confort thermique exprimé .....	90
Figure 4-14 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de satisfaction thermique exprimé.....	91
Figure 4-15 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur PMV calculés .....	92
Figure 4-16 : Histogramme de répartition des taux de réponse aux affirmations selon le genre .....	93
Figure 5-1 : Sous-phase traitement et analyse des données .....	95
Figure 6-1 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de sensation thermique .....	110
Figure 6-2 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de confort thermique .....	111
Figure 6-3 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de satisfaction thermique .....	112
Figure A.3 - 1 : Plan du rez-de-chaussée de l'entreprise Greisch (Source : Greisch sa).....	xiii
Figure A.3 - 2 : Plan du sous-sol de l'entreprise Greisch (Source : Greisch sa) .....	xiv
Figure A.3 - 3 : Vue vers la façade arrière (Source : Greisch sa).....	xv
Figure A.3 - 4 : Vue générale extérieure du bâtiment (Source : Greisch sa).....	xv
Figure A.3 - 5 : Vue intérieure (Source : Greisch sa) .....	xv
Figure A.7 - 1: Histogramme de répartition des répondants selon leur proximité à un mur extérieur ou à une fenêtre .....	xxix
Figure A.7 - 2: Histogramme de répartition des répondants selon leur niveau d'activité .....	xxx
Figure A.7 - 3 : Histogramme de répartition du nombre moyen d'heures passées dans l'open-space selon le genre .	xxx
Figure A.7 - 4 : Histogramme de répartition des fumeurs et non-fumeurs selon le genre .....	xxx
Figure A.7 - 5 : Histogramme de répartition des répondants selon l'activité sportive pratiquée ou non avant l'enquête et le genre .....	xxx
Figure A.7 - 6 : Histogramme de répartition des répondants selon le genre et les sujets à troubles du sommeil .....	xxx
Figure A.7 - 7: Histogramme de répartition des genres en phase de digestion ou non .....	xxx
Figure A.7 - 8: Histogramme de répartition des répondants selon leur pratique sportive de la semaine et leur genre .....	xxx
Figure A.7 - 9 : Histogramme de répartition des répondants selon le nombre de problèmes de santé signalés et le genre .....	xxx
Figure A.7 - 10 : histogramme de répartition des répondants sujets à troubles du sommeil selon leur genre et la fréquence des troubles.....	xxx
Figure A.7 - 11 : Histogramme de répartition de répondants selon leur genre et le nombre d'heures de sommeil journalier moyen.....	xxx
Figure A.7 - 12 : Histogramme de répartition de répondants selon leur genre et le nombre d'heures de sommeil de la nuit précédente .....	xxx
Figure A.7 - 13 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la première affirmation .....	xxx

Figure A.7 - 14 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la deuxième affirmation .....	xxxv
Figure A.7 - 15 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la troisième affirmation .....	xxxv
Figure A.7 - 16 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la troisième affirmation .....	xxxvi
Figure A.8 - 1 : Poster synthétique de la recherche.....	xxxvii

## Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Tableau comparatif d'études similaires à l'étude présentée.....	39
Tableau 3-1 : Synthèse de l'opérationnalisation des variables de la recherche.....	51
Tableau 3-2 : Domaines de questions de l'enquête testée .....	53
Tableau 3-3 : Questions inexploitées classées par motif .....	64
Tableau 3-4 : Tri des questions conservées pour l'analyse des données .....	65
Tableau 3-5 : Tableau d'interprétation de l'IMC .....	66
Tableau 3-6 : Mise en comparaison des caractéristiques de chaque test statistique .....	69
Tableau 4-1 : Tableau des températures et taux d'humidité relative de l'air intérieur pour la période étudiée .....	78
Tableau 4-2 : Détail de la répartition des genres des répondants .....	81
Tableau 4-3 : Tableau de répartition des effectifs et des fréquences selon la soumission de l'enquête.....	82
Tableau 5-1 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : sensations thermiques.....	96
Tableau 5-2 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour le niveau de sensation thermique exprimé .....	97
Tableau 5-3 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : confort thermique .....	98
Tableau 5-4 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour le niveau de confort thermique exprimé .....	99
Tableau 5-5 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : satisfaction thermique .....	99
Tableau 5-6 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour la satisfaction thermique .....	100
Tableau 5-7 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : Habillement .....	101
Tableau 5-8 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour l'habillement.....	102
Tableau 5-9 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : indice de masse corporel.....	103
Tableau 5-10 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour l'IMC.....	103

# 1 Introduction

Ce chapitre introduit le cadre de l'étude développée. La thématique est présentée au regard du contexte mondial actuel (1.1). Le sujet est articulé sous une analyse de sa pertinence et des implications scientifiques qui en découlent (1.2). Les différents objectifs de l'étude sont explicités avant d'aborder concrètement la question de recherche principale et les sous-questions qui façonnent la structure et le contenu des prochains chapitres (1.3 et 1.4).

## 1.1 Contexte et énoncé du problème

Les rapports du GIEC, groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, soulignent depuis quelques années des constats quant au changement climatique mondial. Ils invitent à agir immédiatement dans l'optique d'un ralentissement positif des phénomènes physiques observés. Un constat est directement lié au confort thermique. Les températures à la surface du globe terrestre ne cessent d'augmenter (SPF, 2024). Le climat est dérégulé avec des vagues de chaleur observées en Belgique, mais aussi une accentuation de l'intensité des précipitations. Le phénomène appelé de « rafales descendantes » entraîne des épisodes de grêles importants à des périodes inattendues de l'année (Fettweis et al., 2016).

Face à ces problématiques actuelles, le confort thermique d'été et d'hiver est parfois mis à mal. L'inscription d'une démarche de transition et d'adaptation des bâtiments pour une résilience face au changement climatique prend tout son sens. De plus, les termes de « pauvreté énergétique » émergent en Belgique depuis une décennie pour qualifier les conséquences des enjeux sociaux de la transition énergétique. Certains foyers souffrent d'un manque d'accès à l'énergie pour se chauffer convenablement (Frogneux et al., 2014). Le confort thermique découle directement des pratiques constructives mises en place. Les enquêtes de bien-être permettent de récolter des données utiles à la compréhension des enjeux du confort thermique de l'ère actuelle. Elles amorcent la prise de conscience des problématiques énergétiques, sociales et climatiques afin d'appuyer le changement nécessaire.

Avant les années 90, le monde médical ne prenait pas souvent en compte la différenciation des catégories « hommes » et « femmes » dans les recherches biomédicales. Un « androcentrisme des sciences », soit la généralisation des caractéristiques de l'homme à la population est présenté dans l'article de Lemarchand (2023). Il expose un manque de représentativité des femmes dans la recherche scientifique. L'inclusion de la variable du sexe dans les recherches permettent pourtant de vérifier l'hypothèse d'une différence qui peut s'avérer impactante et importante selon le milieu étudié (Klein et al., 2015).

Les oppositions à la suggestion d'une meilleure considération de la femme dans les études sont nombreuses, car elle est considérée par certains comme un facteur de ralentissement dans le progrès scientifique à cause de la charge de travail ajoutée sans certitude d'en tirer des résultats pertinents (Klein et al., 2015). Dans ce travail, la

variable principale de différence entre l'homme et la femme est le cycle de reproduction féminin. Or, il est l'une des causes des objections à intégrer la femme dans les études, car il apporte une variable complexe supplémentaire à analyser (Klein et al., 2015) alors celle-ci assurerait une meilleure représentativité et prise en compte des variantes impactantes.

De plus, les enquêtes standardisées actuelles du confort thermique n'incluent pas explicitement la différence des genres. Les questions ne traitent pas des caractéristiques biologiques propres à l'homme et à la femme pourtant soumis à de nombreuses variations internes dissemblables (taux hormonaux, immunités, symptômes de maladie, etc.) (Sciama, 2023). Cette recherche vise donc à remettre en question rationnellement la manière d'évaluer le bien-être des usagers, en particulier la façon d'intégrer ou non la différence des genres et leurs caractéristiques propres.

En Belgique, le cadre réglementaire fixe à 40 heures par semaine le nombre d'heures maximales de travail dans les entreprises. Ce nombre correspond à 8 heures par jour ce qui représente environ la moitié du temps libre d'une journée typique (Service Public Fédéral, 2024). Le temps quotidien passé au bureau pour un temps plein est approximativement le même que le temps libre passé dans son domicile. De plus, on estime qu'en 2021, 26,1 % des salariés uniquement travaillaient en temps partiel (STATBEL, 2022). Ces chiffres sont le constat de l'importance du temps dédié au travail en Belgique. Des études se sont antérieurement concentrées sur la qualité des espaces de travail jugée par les occupants. Des résultats montrent que le type de bureau (espace privé ou partagé) est impactant dans la satisfaction des employés (Leder et al., 2016). Le confort perçu est jugé fortement influencé par des facteurs personnels de différents types liés ou non au bâtiment dans l'étude de Bluysen et al. (2011).

Le bâtiment peut également agir sur le niveau de santé des occupants sous le « syndrome du bâtiment malsain ». Ce syndrome est un concept apparu dans les années 80. Il regroupe toutes les sources d'inconforts provoquées par l'environnement bâti et liées à la santé créant des symptômes comme des maux de tête, des yeux irrités, de la fatigue ou des allergies. Selon l'article de Lavoye & Thellier (2008), les facteurs majeurs qui influencent ce syndrome sont les conditions thermiques et la qualité de l'air. Le confort thermique est ici une des variables principales de la recherche dans une démarche de compréhension de la satisfaction des occupants dans le cas des open-spaces (espace ouvert de bureaux partagés) et de la compréhension des dynamiques d'interactions entre le bâtiment et le confort de l'utilisateur.

## **1.2 Pertinence du sujet de recherche**

La recherche vise à remettre en question les procédures de récolte de données reproduites quasi systématiquement à l'identique au travers des enquêtes standardisées. Elles permettent de comparer les résultats issus de plusieurs bâtiments. Cependant, les hypothèses posées et vérifiées lors de leur élaboration ne sont pas souvent explicitées. La manière d'interroger un groupe impacte les résultats

communiqués par les répondants. Si l'on évalue les variables sans prendre en considération les caractéristiques intrinsèques à l'individu, celles-ci ne seront pas forcément identifiables dans les résultats alors qu'elles jouent possiblement un rôle dans le problème étudié. Or, la mise en place d'une enquête du confort thermique vise à récolter des données pour améliorer le confort de l'occupant. L'utilisateur des lieux est le point central de la démarche. On cherche à offrir un cadre qui satisfait un maximum de personnes et au maximum ces personnes.

Afin de s'assurer d'une représentativité qualitative des individus sondés dans les résultats, chaque variable intrinsèque à l'individu devrait être analysée afin de voir si elle impacte de manière significative le niveau de confort thermique perçu. Ainsi, dans le cadre de la recherche, la variable principale remise en cause est celle du genre. On entend par le genre, le sexe biologique de la personne (homme ou femme). Il s'agit donc de se questionner quant à la pertinence d'ajouter ou non cette prise en compte des variantes entre hommes et femmes dans les versions d'enquêtes standardisées du confort thermique. La démarche s'inscrit dans l'objectif 5 de développement durable des Nations Unies (cf. Annexe 1) : « l'égalité entre les sexes » (cf. Figure 1-1). La moitié de la population mondiale est composée de filles et de femmes. Pour autant, de nombreuses inégalités entre les sexes ralentissent le progrès social (Bodiguel, s. d.-b). Une meilleure représentativité de la femme dans les recherches scientifiques contribue à réduire les obstacles sociaux provoqués par ces inégalités. L'application des normes à l'échelle internationale présente un intérêt potentiel non négligeable dans la diminution des discriminations.

Le temps journalier passé au travail varie selon les personnes, mais il reste important au regard du syndrome du bâtiment malsain et des risques encourus sur la santé des employés. Les conditions de travail découlant du bâtiment impactent la santé mentale des employés. En effet, certaines recherches sur le syndrome du bâtiment malsain mettent en évidence l'impact de certains paramètres sur la santé physique et psychologique des occupants, la productivité et le niveau de confort (Boity et al., 2022 ; Wang et al., 2022). Les propriétaires des bâtiments sont responsables en grande partie de la qualité intérieure qu'ils fournissent à leurs usagers par le système HVAC mis en place (ventilation des pièces, climatisation, système de chauffage, etc.). Ils le sont aussi quant aux matériaux choisis et disposés in situ (solvants nocifs, mauvaise isolation, etc.). Dans cette optique, il est indispensable de s'assurer grâce à des outils fiables de la salubrité des espaces de travail au moyen d'enquêtes et de paramètres mesurés sur site. L'objectif 9 de développement durable des Nations Unies « industrie, innovation et infrastructure » explique la nécessité de construire des bâtiments résilients aux défis actuels mondiaux (Figure 1-1). Les infrastructures doivent s'intégrer dans une gestion plus rationnelle des ressources en favorisant le renforcement de la recherche scientifique (Bodiguel, s. d.-c). La remise en cause des outils d'évaluation du confort thermique contribue à la réflexion scientifique sur les innovations techniques développées au regard des enjeux mondiaux actuels. Leur amélioration doit passer par une évaluation précise du bien-être des occupants.

Enfin, au regard des enjeux environnementaux actuels, bien évaluer le confort thermique est important pour minimiser l'impact environnemental du bâtiment dans

une démarche d'économie énergétique. G. Brager et al. (p.284, 2015) affirme « qu'aujourd'hui, trop de bâtiments endommagent la planète sans servir correctement leurs occupants ». Le bien-être de l'utilisateur doit rester une priorité ce qui ne rend pas pour autant impossible sa conciliation avec une modération de la consommation énergétique dans le cas de bâtiments surchauffés par exemple. L'objectif 12 de développement durable des Nations Unies rencontre cette réflexion (cf. Figure 1-1). Il vise à des modes de consommation et de production durables. La consommation actuelle est démesurée au regard des ressources planétaires. Une gestion plus rationnelle doit s'opérer également dans la consommation liée à la gestion et à l'occupation des bâtiments (Bodiguel, s. d.-d). Pour concilier au mieux les enjeux de réduction de la consommation et du confort thermique, les résultats des enquêtes doivent permettre de fournir des solutions pertinentes et réalistes aux problèmes constatés.



Figure 1-1 : Illustration des trois objectifs du développement durable retenus

### 1.3 Objectifs de la recherche

Sur base d'une enquête qualitative du confort thermique, cette recherche a pour objectif principal **l'évaluation de la pertinence d'inclure davantage la différence des genres, au sein des enquêtes standardisées existantes du confort thermique**. Cette évaluation est mise en place dans le but d'apporter un environnement de travail le plus confortable possible pour les employés. On entend par **inclure davantage la différence des genres**, inclure davantage de questions portant sur les caractéristiques biologiques propres à la femme. De plus, une prise en compte de variables complémentaires est proposée. Il s'agit de variables qui peuvent impacter significativement le confort thermique ressenti au moment de l'évaluation par l'enquête (digestion, sommeil, activité sportive, etc.) et être elles-mêmes influencées par le genre. Enfin, la notion d'inclusion passe par la vérification de l'importance significative des genres dans les variables étudiées. Des **objectifs complémentaires** structurent le travail :

- Identifier les éventuels biais de l'enquête standardisée testée ;
- Proposer une méthodologie reproductible en-dehors du cadre de la recherche ;
- Analyser un cas d'étude concret de bureaux aménagés en open-space ;
- Tirer des conclusions quant à la meilleure manière d'interroger les répondants d'une enquête de confort thermique.

L'**audience** visée par ce travail est constituée des usagers de bureaux, des propriétaires de bureaux, des architectes, des étudiants en architecture, des

chercheurs scientifiques, des gestionnaires de bâtiment et des bureaux d'étude. Les **impacts** potentiels de cette étude sont les suivants :

- L'amélioration de l'outil d'évaluation de la satisfaction et du confort thermique dans les open-spaces (enquête révisée) ;
- La satisfaction optimisée du groupe relative aux variables du confort thermique;
- Une économie potentielle d'énergie consommée par le bâtiment ;
- Un changement dans les habitudes des gestionnaires de bâtiment qui introduisent la température de consigne dans le programme de chauffage.

#### **1.4 Question de recherche principale et sous-questions de recherche**

La question de recherche principale et les sous-questions découlant des objectifs explicités précédemment sont formulées comme suit :

**Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?**

1. Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?
2. Quels sont les profils d'utilisateurs interrogés au sein du bâtiment ?
3. Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?
4. Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?
5. Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

La question de recherche porte sur la relation à vérifier entre le genre et la satisfaction du confort thermique. Le travail se base sur l'analyse d'un cas d'un bureau aménagé en open-space en période hivernale. La recherche est observationnelle d'un groupe de répondants composée d'une approche quantitative (mesures in situ) complétée par une approche qualitative du confort thermique (questionnaires soumis). Les résultats sont analysés par le biais de tests statistiques afin d'apporter des réponses concluantes aux questions 4 et 5.

#### **1.5 La structure du travail**

En concordance avec les objectifs précités, la suite du document se structure en premier lieu autour d'une présentation théorique des concepts et outils de l'étude ainsi que des recherches similaires tant sur la méthodologie appliquée que sur le sujet de l'étude (chapitre 2). Ensuite, la méthodologie développée pour répondre aux diverses questions de l'étude est explicitée dans le chapitre 3. Enfin, les résultats issus de l'application de la méthodologie sont présentés aux chapitres 4 et 5, puis discutés au chapitre 6. Le chapitre 7 reprend les conclusions à tirer à l'échelle du travail.

## 2 État de l'art

### 2.1 Le confort thermique

#### 2.1.1 Sa définition et ses paramètres

Dans l'ouvrage de Roulet (2008), le confort thermique est introduit par sa relation intrinsèque au bâtiment. Le confort d'un bâtiment y est présenté comme « un aspect de son architecture ». Il ajoute que la garantie d'un confort pour l'occupant est le premier rôle que le bâtiment a à assurer. De plus, le confort thermique est défini par ANSI/ASHRAE Standard 55 (p.3, 2020) comme « l'état d'esprit qui exprime la satisfaction à l'égard de l'environnement thermique ». Il est également lié à la performance énergétique du bâtiment. (Lavoye & Thellier, 2008)

Cependant, il est important de noter que le confort thermique est un concept général qui ne se réduit pas au secteur du bâtiment. Il concerne tout individu placé dans un environnement thermique. Ainsi, le confort thermique est une notion applicable pour toutes les situations engageant différents paramètres à prendre en considération. Le confort thermique extérieur n'est pas défini dans ce travail. Le confort thermique intérieur est développé dans une approche centrée autour du bâtiment. Il est déterminé pour l'hypothèse d'un régime permanent (=approche statique) par six variables dont 2 directement liées à l'individu et 4 liées à l'environnement représentées sur la Figure 2-1.

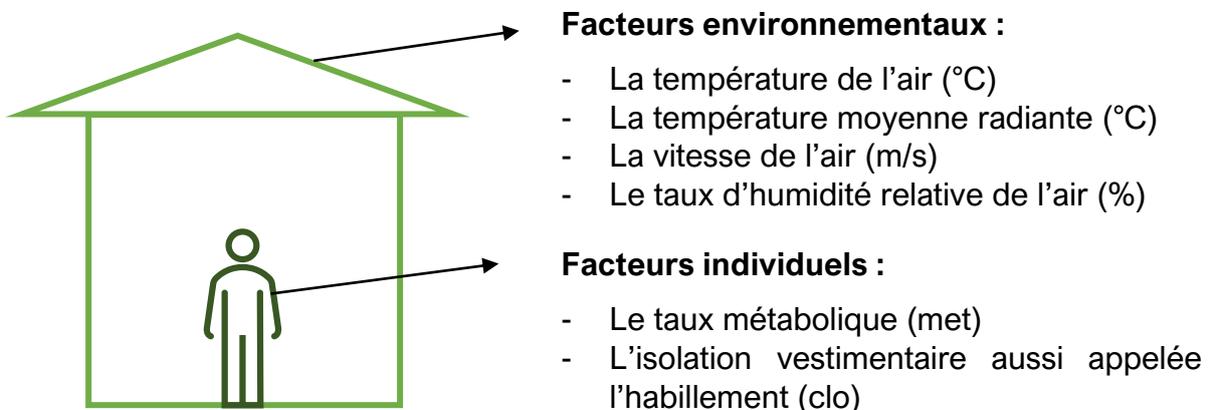


Figure 2-1 : Représentation des paramètres du confort thermique

Les deux paramètres individuels varient souvent d'une personne à l'autre. La satisfaction de tous est difficile à atteindre en considérant d'autres variations physiologiques et psychologiques individuelles. Les études cherchent donc à satisfaire un maximum de personnes selon les conditions données, mais pas à satisfaire l'ensemble du groupe. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020) Selon Roulet (2008), il est impossible de satisfaire plus de 95% de la population.

À titre indicatif, le taux d'humidité relative de l'air est un des facteurs le moins influençant du confort thermique. Il est jugé peu influent entre 30 et 70% HR (Roulet, 2008). La vitesse de l'air est idéale en période hivernale si elle approxime 0,13 m/s. Si

elle est inférieure à 0,2 m/s, son impact sur le confort thermique est jugé négligeable. (Energie plus, 2007) De plus, 1 clo (=0,155 W/m<sup>2</sup>/K) correspond à une tenue vestimentaire typique en période hivernale. Une unité métabolique correspond à 58,2 W/m<sup>2</sup>. (ISO 7730, 2005; Lavoye & Thellier, 2008)

Le confort thermique est en réalité plus complexe qu'une combinaison de six paramètres. Il est induit par un système de facteurs à l'importance variable dits physiologiques, physiques, psychologiques et sociologiques. (Cantin et al., 2005) Dans la littérature, l'approche de l'adaptation thermique est définie sous trois axes : l'adaptation comportementale, l'acclimatation physiologique et l'accoutumance ou l'attente psychologique. (G. S. Brager & de Dear, 1998)

Afin de quantifier le concept, des modèles physiques et physiologiques ont été développés. Ils se basent sur le bilan thermique du corps avec l'environnement (cf. section 2.1.2). Les modèles physiologiques prennent en considération certaines variables de la thermorégulation du corps (cf. section 2.1.2) tandis que les modèles physiques intègrent les échanges de chaleur entre le corps et l'environnement. Leur combinaison constitue l'approche analytique généralisée du confort thermique. Elle permet de prédire la sensation thermique des usagers sous certaines conditions thermiques connues. Le modèle de Fanger est développé sous une approche analytique du système (cf. section 2.1.3). L'approche analytique se base au final sur les six paramètres représentés à la Figure 2-1 de l'approche statique. (Cantin et al., 2005)

Des notions d'inconfort local thermique sont développées dans la littérature. Il s'agit des phénomènes d'hétérogénéité des six paramètres sur différentes parties du corps de l'individu. Cela peut créer de l'inconfort dit « local ». (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020) Un inconfort local peut être généré par un courant d'air, par une asymétrie dans les températures de rayonnement des parois environnantes de la pièce (mur, plafond, sol,...), ou encore par la stratification thermique de l'air. (Lavoye & Thellier, 2008) La stratification de l'air provient de la différence de densité de l'air selon sa température propre. L'air chaud a tendance à monter, car il a une densité plus petite que l'air froid. Ce phénomène peut à lui seul générer des mouvements d'air importants à cause de l'ascension de l'air chaud depuis le système de chauffage (par exemple des convecteurs ou des radiateurs) vers le plafond. Certains bâtiments profitent des théories de la physique pour créer volontairement un mouvement de convection d'air en plaçant des plafonds froids rayonnants. (Lardinois, 2024; Lavoye & Thellier, 2008)

### 2.1.2 La régulation du corps humain

La température du corps humain tourne en moyenne autour de 36,7 °C. Il est dit « homéotherme » puisqu'il s'autorégule pour garder sa température interne la plus constante possible vis-à-vis de l'environnement extérieur. (Cantin et al., 2005) Les fonctions primaires liées à l'activité métabolique de l'Homme permettent d'utiliser une partie de la nourriture consommée pour le maintien de cette température. Il est important de noter que la température corporelle excède en permanence la température de l'air ambiant pour la période hivernale en Belgique. Un bilan thermique entre l'Homme et l'environnement s'opère alors pouvant créer de l'inconfort à la suite de l'activation des fonctions thermorégulatrices de l'Homme. (Energie plus, 2007;

Roulet, 2008) Les échanges thermiques entre le corps et l'environnement se font majoritairement par **convection** (>50% des pertes) et par **rayonnement** (<35%). En effet, les pertes par **conduction** sont jugées négligeables. Toutefois, la nourriture consommée contribue également à la perte de chaleur humaine (<6%). (Energie plus, 2007)

La thermorégulation du corps passe par les mécanismes physiologiques enclenchés automatiquement par l'hypothalamus (zone du cerveau) pour garder un bilan thermique le plus équilibré possible avec l'environnement (actions inconscientes). L'hypothalamus est abordé dans l'ouvrage de Bluysen (2014) comme la partie du cerveau qui « contient un thermostat qui régule la température corporelle à un point de consigne par l'intégration de diverses réponses sympathiques au froid ». On parle de **thermorégulation physiologique**. Elle passe aussi par les mécanismes comportementaux humains (actions conscientes) qui visent à réduire les sensations liées à l'inconfort. On parle alors de **thermorégulation comportementale**. Cette dernière permet d'améliorer significativement la tolérance à l'inconfort des occupants s'ils ont suffisamment de contrôle et de possibilité d'agir sur leur environnement thermique. (Cantin et al., 2005; Lavoye & Thellier, 2008; Roulet, 2008)

L'Homme possède deux capteurs de régulation : l'hypothalamus et les capteurs sensoriels de la peau. Lorsque la température de l'air augmente, le mécanisme d'évapotranspiration s'enclenche. Il permet l'évacuation de la chaleur grâce à la dilatation des vaisseaux sanguins. La température de la peau augmente alors afin d'enclencher le mécanisme des glandes sudoripares responsables de la sueur. La dilatation des vaisseaux sanguins augmente en réalité le débit du sang. La chaleur du corps est évacuée vers la peau, c'est la **vasodilatation**. L'évapotranspiration enclenche les mécanismes de sudation (transpiration) à cause du déplacement de la chaleur vers la peau. La chaleur est alors évacuée sous forme d'eau vers l'environnement. Lorsque la température diminue, les vaisseaux sanguins sont contractés et le métabolisme augmente pour réchauffer le corps. Il s'agit de la **vasoconstriction**. Elle réduit les échanges avec l'environnement en conservant l'énergie interne du corps. Le phénomène de frissonnement permet l'augmentation du métabolisme par contraction des muscles. (Lavoye & Thellier, 2008; Roulet, 2008)

Lorsque le corps atteint un équilibre global avec l'environnement, il n'est pas garanti que le confort thermique de la personne soit atteint. Il relève de deux effets : les attentes de la personne et la sensation d'équilibre entre les conditions thermiques et la régulation du corps. (G. S. Brager & de Dear, 1998) Le bilan thermique s'exprime selon 7 paramètres. L'équilibre thermique est atteint si la charge thermique ( $S$ ) est nulle. La charge thermique est fonction des six paramètres environnementaux et individuels du confort thermique expliqués à la section 2.1.1. L'équation du bilan thermique se note comme suit (André, 2023; Lavoye & Thellier, 2008):

$$S = (M - W) + Q_r + Q_c + H_{sw} + H_{persp} + H_{resp}$$

Où  $S$  = Charge thermique ;

$M$  = Production de chaleur métabolique ;

$W$  = Travail extérieur fourni par le corps ;

$Q_r$  = Échanges par rayonnement ;  $Q_c$  = Échanges par convection ;

$H_{sw}$  = Échanges par évaporation (transpiration) ;

$H_{persp}$  = Échanges par diffusion de vapeur d'eau (perspiration) ;

$H_{resp}$  = Échanges par respiration.

Des différences entre les thermorégulations des genres ont été observées dans l'étude de Kaciuba-Uscilko & Grucza (2001). Une des causes principales est un plus grand rapport entre la surface corporelle et la masse corporelle chez les femmes. Autrement dit, la surface d'échange proportionnellement à la masse avec l'environnement thermique est plus grande chez les femmes que chez les hommes. Cette étude conclut aussi à une meilleure efficacité d'évapotranspiration chez les femmes que chez les hommes. De plus, l'étude discute de l'impact des variations hormonales sexuelles chez les femmes. Le cycle menstruel y est décrit comme impactant dans la thermorégulation à cause d'une libération importante d'hormones sexuelles. La thermorégulation n'est donc pas un phénomène stable chez les femmes selon Kaciuba-Uscilko & Grucza (2001). L'étude préalable de Burse (1979) indique déjà le même constat. Les masses corporelles des femmes y sont approximées environ 20% inférieures à celles des hommes. Leurs surfaces corporelles sont également 18% plus faibles.

Une autre corrélation de la thermorégulation avec l'indice de masse corporelle (calcul de l'IMC détaillé à la section 3.9) est analysée dans l'étude de Özer et al. (2016). Elle indique pour l'échantillon testé un seuil de vasoconstriction qui diffère selon l'IMC. En effet, ils constatent que les sujets ayant un IMC plus élevé ont un seuil également plus élevé. En d'autres termes, la température à laquelle s'enclenche le phénomène de vasoconstriction est inférieure pour les personnes d'IMC plus élevé. La cause de ce constat est la présence d'une masse graisseuse plus importante qui nuit au passage de la chaleur pour son élimination. Autrement dit, cette masse diminue les échanges de chaleur avec l'environnement. La température interne est plus élevée. Ainsi, le phénomène de vasoconstriction est déclenché pour des températures plus extrêmes. (Cabannais et al., 2010; Özer et al., 2016)

### 2.1.3 Les modèles du confort thermique

Le modèle de Fanger développé dans les années 70 constitue l'approche analytique du confort thermique la plus couramment utilisée dans la recherche scientifique. Il est représenté par la norme internationale ISO 7730 (2005) et par la norme américaine (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020) qui sont développées en détail aux sections 2.3.1.2 et 2.3.1.4. (Cantin et al., 2005; Lavoye & Thellier, 2008; Yao et al., 2022) Ce modèle introduit deux indices empiriques, dits de Fanger, liés à la prédiction de la sensation thermique. D'une part, l'indice du PMV appelé « Predicted Mean Vote » se traduit par une sensation thermique moyenne prédite. Il prédit sur base de paramètres du confort thermique connus ou estimés la sensation thermique d'un groupe important de personnes pour ces valeurs données. Il se base sur le bilan thermique du corps humain avec son environnement thermique. Il est évalué sur

l'échelle de sensation de -3 (très froid) à +3 (très chaud). L'échelle à 7 niveaux est représentée à la Figure 2-2. (André, 2023; Fanger, 1970; Lavoye & Thellier, 2008)

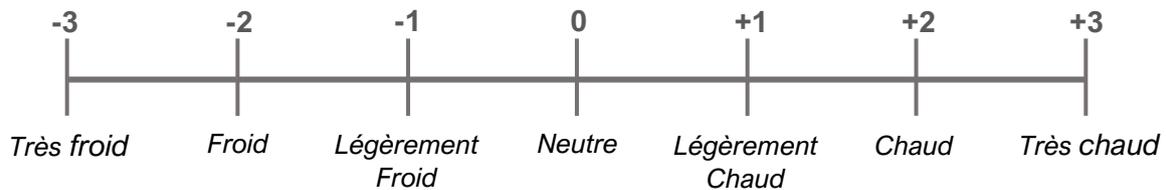


Figure 2-2 : Échelle de sensation thermique du PMV

Afin de compléter le PMV, le modèle de Fanger introduit un deuxième indice. Le PPD appelé « Percentage of People Dissatisfied » représente le pourcentage d'insatisfaits prédit selon la sensation donnée par le PMV. On entend par insatisfait les personnes qui auront très froid ou très chaud. (ISO 7730, 2005) Pour un PMV qualifié de « neutre », le PPD minimal est de 5%. Ce qui correspond à l'hypothèse énoncée précédemment. Le pourcentage de satisfait d'un groupe ne peut aller au-delà de 95% de la population totale du groupe dans ce modèle. Le PPD est inférieur à 10% pour des valeurs du PMV allant de -0,5 à 0,5. Cet intervalle de valeurs correspond à la plage de sensations thermiques prédites acceptable. Les deux indices de Fanger sont représentés sur un graphique couramment employé. En effet, le PPD est calculé comme une fonction du PMV. Le détail des formules est présenté à la section 2.3.1.2. Le graphique de la Figure 2-3 est un outil utile lorsqu'on connaît le PMV et que l'on souhaite évaluer rapidement le PPD associé.

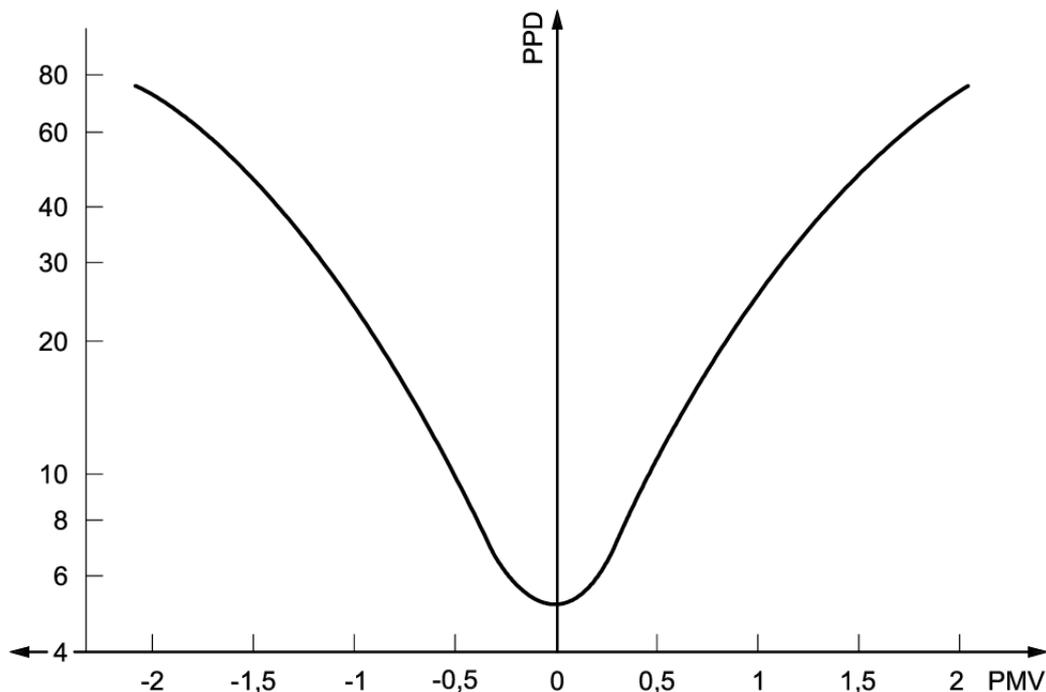


Figure 2-3 : Graphique du PMV selon le PPD (%) (Source : ISO 7730, 2005,p.5)

Le modèle de Gagge est représenté par la norme américaine ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Son approche est axée sur les phénomènes de thermorégulation physiologique. Il réduit le corps humain en deux nœuds isothermes : le centre du corps et la peau. Il prend ainsi en compte la conduction tissulaire et la convection sanguine. Le modèle de Stolwijk et Hardy est plus précis que le modèle de Gagge. Il a été développé pour la NASA et prend en considération 25 nœuds dans la modélisation du corps humain. Il est donc plus précis pour les phénomènes d'inconfort local. (Cantin et al., 2005; Lavoye & Thellier, 2008) Ces deux modèles ne sont pas développés plus en détail, car l'étude présentée se concentre sur le modèle de Fanger.

L'approche statique ne prend pas en compte le facteur dynamique de la régulation des ambiances thermiques. Elle conduit à un surdimensionnement des équipements de chauffage, de refroidissement et de climatisation. Ces paramètres influencent à la fois la consommation d'énergie du bâtiment et l'émission de gaz à effet de serre. C'est sous une approche systémique plus complète du confort thermique que les modèles dynamiques ont été développés. (Cantin et al., 2005)

Le confort thermique adaptatif est un modèle apparu après le modèle statique de Fanger. L'approche adaptative sert au départ à fournir un guide sur base d'investigations menées dans de nombreux bâtiments. Elles consistent à relever les sensations thermiques des occupants en même temps que les mesures des paramètres environnementaux du lieu. Sur base de ce relevé, une analyse statistique détermine les valeurs des paramètres idéales pour obtenir des sensations thermiques acceptables. Une base de données se forme ainsi pour tout bâtiment qui se trouve dans des conditions semblables. Cependant, le croisement de l'approche analytique à l'adaptative montre des différences significatives entre le confort prédit et le confort perçu. (Cantin et al., 2005)

Face à ce constat Brager & de Dear (1998) ont questionné l'approche de Fanger (1970). Leur étude reconnaît la capacité d'adaptation de l'occupant sous l'un des trois processus précités : l'adaptation comportementale, l'acclimatation physiologique et l'accoutumance ou l'attente psychologique. La nouveauté dans le modèle adaptatif est la prise en considération de l'occupant comme une variable active et non plus passive. L'approche analytique considère le problème sous une trame linéaire allant des paramètres physiques, aux paramètres physiologiques jusqu'à obtenir des valeurs propres au confort thermique. L'approche adaptative remet en cause la linéarité de ce modèle et considère l'adaptation de l'occupant dans son ambiance thermique via des boucles rétroactives (réaction de l'occupant après une perturbation). Cependant, l'approche adaptative est vue comme une complémentarité du modèle analytique. Ce dernier est même parfois considéré comme partiellement adaptatif au vu de sa prise en compte de l'habillement et du taux métabolique dans les paramètres individuels. (G. S. Brager & de Dear, 1998; Cantin et al., 2005; Yao et al., 2022)

Le confort thermique est également abordé depuis une vingtaine d'années sous une approche dynamique. Dans celle-ci, le confort est évalué comme un « système auto-organisateur où l'occupant du bâtiment possède la capacité de modifier son comportement en fonction du niveau de confort, de son expérience et des transformations de son environnement. » (Cantin et al., p.7, 2005)

En résumé, il faut retenir que les normes se basent principalement sur l'approche analytique du confort thermique amenée par Fanger (1970) et sur l'approche adaptative dans un second temps. Le confort thermique englobe l'ensemble des relations bâtiment-occupant, mais selon le modèle choisi, certaines interactions ne sont pas prises en compte. Le modèle de Fanger reste le pilier du confort thermique malgré certaines limites. L'ouvrage de Roulet (2008) en cite quatre principales :

- Pas de prise en compte des gradients de température ;
- Pas de prise en compte des contacts avec des surfaces froides ;
- Pas de prise en compte de l'effet désagréable des courants d'air ;
- Pas de prise en compte des effets dynamiques.

Il est important d'avoir conscience de ces biais lors de l'analyse des résultats. Le confort thermique est composé de deux systèmes complexes de variables différentes qui s'influencent mutuellement (occupants vs bâtiment) et il n'est pas évident de les représenter avec justesse. (Cantin et al., 2005) Une autre étude renforce les précédentes conclusions en affirmant que le PMV est parfois un outil peu précis dans son estimation de la sensation thermique à cause de difficultés à recueillir les valeurs exactes de l'habillement et du taux métabolique. Les erreurs proviennent souvent des estimations liées à ces variables. Cependant, cette observation dépend évidemment du contexte de la recherche. (Charles, 2003)

Enfin, l'article de (Jones, 2002) fournit des recommandations à suivre quel que soit le type de modèle choisi et appliqué. Ils ont tous des limites énoncées dans cette section, mais le chercheur se doit de respecter certaines règles d'applications. Il recommande d'une part de respecter rigoureusement les **conditions d'applications** du modèle au risque d'impacter la précision des résultats. D'autre part, l'utilisation d'un modèle normé nécessite d'entrer des **valeurs précises** pour chaque variable étudiée. Il précise aussi que malgré les limites des modèles simplifiés empiriques (modèle de Fanger par exemple), ils restent un outil de comparaison stable là où les modèles plus complexes font souvent l'objet de modification. Selon lui, au final chaque modèle tente d'approximer au mieux la réalité. Il n'y a pas de modèle exactement fidèle à la réalité, mais certains la représentent mieux que d'autres. Pour prendre en compte toutes les variables qui impactent le confort thermique, il faut construire un « modèle thermique humain rigoureux, précis et sans ambiguïté ». (Jones, 2002)

## 2.2 Les différents enjeux liés au confort thermique

### 2.2.1 Les enjeux environnementaux et énergétiques

Comme introduit au chapitre 1, les enjeux actuels du changement climatique invitent à réfléchir à la manière d'apporter un confort thermique suffisant pour l'utilisateur tout en garantissant une consommation énergétique du bâtiment cohérente avec les objectifs fixés par les différents niveaux de pouvoir. L'Europe vise la neutralité

climatique pour 2050 et c'est en cohérence avec cet objectif que la réglementation PEB est mise en place en Région wallonne. Cette réglementation est abordée à la section 2.3.3.3.

La définition du confort thermique introduit un lien direct à la performance énergétique des bâtiments. Effectivement, les quatre paramètres intrinsèques à l'environnement sont liés aux performances énergétiques. Par conséquent, un enjeu direct découle de cette relation : minimiser les consommations énergétiques en utilisant des modèles de prédiction des sensations thermiques ressenties. L'objectif est de garantir un confort thermique acceptable en optimisant les performances énergétiques du bâtiment. (Lavoye & Thellier, 2008) L'énergie utilisée pour le système HVAC du bâtiment représente la majorité de la consommation énergétique du secteur. Or, le bâtiment est responsable des émissions de gaz à effet de serre des équipements nécessaires au confort thermique. (Cantin et al., 2005)

Le confort thermique doit être abordé sous le spectre du développement durable (cf. partie 1.1). Cantin et al. (p.2, 2005) indiquent que « le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences primordiales : maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur, tout en assurant des ambiances intérieures saines et confortables. » Or, les approches analytiques à la base des normes actuelles ne permettent pas de prendre en considération les enjeux du développement durable soit la consommation énergétique du bâtiment. Les méthodes statiques risquent de par leur biais d'engendrer des conclusions généralisées vers des techniques allant à l'encontre des objectifs du développement durable (ex. : climatisation active). L'apport de la notion adaptative du confort thermique sous forme d'outils complémentaires a été développé dans la littérature, mais sa mise en place (boîte noire) complique la validité de son application. (Cantin et al., 2005)

La conclusion tirée de l'article de Yao et al. (2022) offre un résumé complet de l'avancée et du potentiel du confort thermique au regard des enjeux environnementaux. « Ces dernières années, les études sur le confort thermique adaptatif ont joué un rôle positif dans la durabilité des bâtiments. L'exploration de l'adaptation thermique dans différentes régions, différents types de bâtiments et différents groupes démographiques est encouragée dans les études futures. Cela pourrait permettre d'établir des politiques d'adaptation localisées pour la conception de bâtiments à faible consommation d'énergie. La recherche sur le confort thermique adaptatif centré sur l'utilisateur final dans un environnement dynamique peut être explorée pour fournir un contrôle optimisé du système énergétique efficace dans les études futures. » (Yao et al., p.86, 2022)

Afin d'améliorer la consommation énergétique des bâtiments existants au regard du confort thermique apporté, il est recommandé de réaliser une enquête in situ pour recueillir l'avis des occupants. (Lavoye & Thellier, 2008) Sur base des retours, certaines actions peuvent être mises en place comme améliorer l'isolation des parois, changer de système de chauffage ou ventiler davantage l'espace, etc. En bref, l'amélioration de l'indice du PEB du bâtiment contribue à diminuer la consommation énergétique primaire.

## 2.2.2 Les enjeux sociaux

Le chapitre d'introduction aborde en surface une partie des enjeux sociaux du confort thermique. Cette section ne présente que les plus pertinents au regard de l'étude, mais elle développe davantage les propos préalablement introduits. Comme énoncé dans ce chapitre, le bâtiment peut impacter significativement la santé et le bien-être des occupants. Sous ce constat, la théorie du « syndrome du bâtiment malsain » englobe depuis les années 80 tous les symptômes d'inconfort des occupants provoqués par des caractéristiques inhérentes aux bâtiments. Les plus fréquemment cités sont les maux de tête, la fatigue mentale, l'irritation des muqueuses, l'irritation de la peau, les troubles respiratoires, etc. La particularité du syndrome est son lien spatio-temporel fort au bâtiment, l'utilisateur ne présente plus les symptômes une fois qu'il en est sorti. Les problèmes de qualité de l'environnement intérieur sont aussi les causes de ce syndrome en ce compris une insuffisance dans le confort thermique apporté. La considération du confort thermique dans l'évaluation du bien-être de l'utilisateur contribue à réduire les risques de ce syndrome. (Wang et al., 2022)

La productivité du groupe de travailleurs est liée aux conditions thermiques de l'environnement. La norme NBN EN 15251 (2007) appuie ce propos (cf. 2.3.2.2). Il est donc intéressant pour l'employeur de bien évaluer le confort thermique. Ceci peut permettre d'accroître potentiellement la productivité du groupe et le sentiment de satisfaction liée à l'accomplissement des tâches qui en découle.

De mauvaises conditions thermiques peuvent être la conséquence de mauvaises performances énergétiques du bâtiment. Face à ce constat, il est souvent conseillé de rénover le bâtiment afin d'en améliorer la qualité des ambiances thermiques. (Lavoye & Thellier, 2008) Cependant, la réalité est parfois bien éloignée des approches théoriques idéalisées et recommandées. La « pauvreté énergétique » introduite précédemment est un terme aujourd'hui présent dans la littérature scientifique qui aborde les difficultés sociales liées à la transition écologique. La pauvreté énergétique représente les situations de précarité de certains foyers pour lesquels se chauffer convenablement n'est malheureusement pas une possibilité. Cet enjeu social du confort thermique est souvent abordé en parallèle des enjeux environnementaux. Ce sont des défis à relever sous une approche systémique du problème. La crise écologique ne doit pas causer davantage d'injustices sociales. De plus, s'assurer de la validité des réglementations et normes en place permet de vérifier la pertinence de l'application des modèles théoriques dans la société. (Frogneux et al., 2014)

## 2.2.3 La variable du genre

Cette section vise à analyser la place de la variable du genre dans le confort thermique actuellement. Le tableau synthétique des études similaires à la recherche présenté à la section 2.6 reprend en détail selon les cas les constats de la différence ou non des genres dans le confort thermique. L'objectif ici est surtout d'aborder les enjeux liés à la prise en compte ou non de cette variable dans l'évaluation des paramètres du confort thermique. Elle est un enjeu social du confort thermique qui est considéré à part entière.

Les différences entre hommes et femmes sont connues et proviennent de différents mécanismes. Ils sont de types sociologiques, éducationnels et biologiques. Les différences biologiques principales proviennent entre autres des variations hormonales (principalement l'œstradiol, la progestérone et la testostérone). (Balthazart & Toussaint, 2019)

Cependant, la prise en compte de cette différence dans la littérature scientifique n'est pas toujours claire. Plusieurs recherches médicales établissent des conclusions claires sur le constat d'une différence biologique entre les hommes et les femmes. Par exemple, la recherche d'Aufavre-Poupon & Trousselard (2018) développe l'impact de la différence de la structure interne du cerveau masculin et du cerveau féminin sur les réactions comportementales. Une autre explique l'importance de réaliser une relecture attentive des recherches scientifiques antérieures au regard de l'impact des hormones sexuelles sur le fonctionnement cognitif de plus en plus étudié et concluant. (Faure et al., 2010) Le texte de Lemarchand (2023) explique à quel point la variable du genre a été longtemps mise de côté dans le monde de la recherche médicale. Les femmes ont été omises des protocoles cliniques. (Klein et al., 2015) L'article récent de Sciana (2023) pointe également du doigt cet « androcentrisme » cité par Lemarchand (p.1, 2023) opéré dans la recherche. Le problème soulève des questions importantes. Les femmes et les hommes sont inégaux sur tellement d'aspects que la recherche médicale est remise en question sur les fondements des diagnostics, symptômes, traitements, etc. On parle ici des recherches à caractère médical, mais le confort thermique est intrinsèquement lié aux caractéristiques biologiques de l'individu même si les modèles qui le représentent le réduisent souvent à des paramètres externalisés environnementaux et individuels.

Aujourd'hui, l'inclusion des femmes comme sujet à part entière des recherches n'est pas encore systématique. Il est même difficile d'obtenir des informations sur l'action opérée d'inclusion ou non des caractéristiques intrinsèques aux femmes dans les recherches qui servent de base aux outils normés. Les hypothèses à ce sujet restent inconnues. Le confort thermique est souvent un sujet développé par des ingénieurs de recherche rarement associés à des professionnels de la santé. Les études ne sont pas très nombreuses et concluantes sur les effets du cycle féminin dans le confort thermique. Par exemple, l'étude empirique de Fanger (1970) n'observe pas d'impact significatif des phases menstruelles sur le confort thermique. Cependant, il recommande de réaliser une étude plus complète avec un échantillon plus large. On sait pourtant que la thermorégulation est impactée par les caractéristiques biologiques propres au genre (cf. 2.1.2). On sait aussi que la thermorégulation est un phénomène biologique qui contribue fortement à l'apport d'un confort thermique. Dorénavant, le flou qui subsiste autour de l'impact de ces paramètres dans le confort thermique questionne les bases des modèles empiriques et normes répandus. La variable du genre constitue donc une zone à développer en matière de confort thermique.

## **2.3 Le contexte réglementaire**

Cette section fournit un aperçu des normes et réglementations existantes relatives au confort thermique pour les différents niveaux de pouvoir. Il s'agit d'une

liste non exhaustive des nombreuses normes existantes. Seules les plus pertinentes au regard de l'étude sont présentées.

### 2.3.1 Le cadre international

#### 2.3.1.1 ISO 7726

L'ISO 7726 (1998) est une norme internationale mise en place pour l'ergonomie des ambiances thermiques, en particulier les appareils de mesure des grandeurs physiques. Elle fournit les indications utiles à la spécification des caractéristiques minimales des appareils de mesure et des méthodes associées. Elle s'intéresse en particulier à la manière de recueillir les informations nécessaires à la détermination des indices du confort thermique, mais pas à la définition de ces indices. Les grandeurs physiques fondamentales de l'environnement thermique sont les suivantes associées à leurs définitions fournies :

- La température de l'air (°C) : « température de l'air autour du corps humain » (ISO 7726, p.2, 1998) ;
- La température moyenne de rayonnement (°C) : « température des parois d'une enceinte virtuelle pour laquelle la température des parois serait uniforme et les échanges par rayonnement entre cette enceinte et l'homme seraient égaux aux échanges par rayonnement dans l'enceinte réelle » (ISO 7726, p.2, 1998) ;
- L'humidité absolue de l'air (kPa) : « toute grandeur liée à la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air » (ISO 7726, p.3, 1998) ;
- La vitesse de l'air (m/s) « intensité du vecteur vitesse du flux au point de mesure considéré » (ISO 7726, p.4, 1998) ;
- La température de surface (°C) : « température d'une surface donnée ». (ISO 7726, p.4, 1998)

La norme indique le thermomètre à globe noir comme appareil de mesure nécessaire à la détermination de la température moyenne de rayonnement par le biais de la température du globe noir (= température opérative) mesuré par l'appareil. Elle spécifie que la forme sphérique de ce thermomètre donne une « approximation raisonnable de la forme du corps dans le cas d'une personne assise ». (ISO 7726, p.3, 1998) La température opérative est définie comme « la température uniforme d'une enceinte dont l'occupant échangerait la même quantité de chaleur par rayonnement et par convection que dans l'ambiance non uniforme réelle » (ISO 7726, p.52, 1998). Elle décrit le thermomètre à globe noir comme « constitué d'une sphère noire au centre de laquelle est placé un capteur de température tel que le bulbe d'un thermomètre à mercure, un thermocouple ou une sonde à résistance. » Un thermomètre de ce genre est visible sur la Figure 3-3. Elle indique également que « le diamètre de la sphère peut théoriquement être quelconque, mais les formules permettant de calculer la température moyenne de rayonnement étant fonction du

diamètre de la sphère, on préconise généralement un diamètre de 0,15 m pour lequel ces formules sont établies. Il convient de noter que plus le diamètre de la sphère est petit, plus grande est l'influence de la température et de la vitesse de l'air, ce qui provoque ainsi une mesure moins précise de la température moyenne de rayonnement. » (ISO 7726, p.15, 1998)

Il est important de noter que la norme fait la distinction entre l'humidité absolue de l'air et de l'humidité relative qui elle fournit la valeur de vapeur d'eau de l'air par rapport à la valeur maximale qu'elle peut contenir à la température et au niveau de pression considérés. Le psychromètre est l'appareil référencé pour mesurer l'humidité. Il détermine « l'humidité absolue de l'air à partir de la connaissance de la température de l'air et de la température humide psychrométrique ». (ISO 7726, p.4, 1998) La vitesse de l'air est dite « fluctuante en fonction du temps en tout point de l'espace ». La norme recommande donc d'enregistrer ses fluctuations. (ISO 7726, p.4, 1998)

Si l'ambiance thermique étudiée est considérée hétérogène, la norme recommande de prendre des mesures à plusieurs emplacements selon la position de l'objet observé. Les capteurs des appareils de mesure doivent être placés selon certaines hauteurs indiquées, le plus proche possible de l'endroit où se positionne le sujet étudié. Des valeurs de gammes de mesures, de précision, et de temps de réponse sont spécifiées pour chaque variable précitée selon la classe souhaitée. Des précautions d'emploi relatives à chaque appareil de mesure sont spécifiées (thermomètre, psychromètre, anémomètre, thermomètre à globe noir, etc.). (ISO 7726, 1998)

### 2.3.1.2 ISO 7730

L'ISO 7730 (2005) est une norme internationale mise en place pour la détermination analytique et l'interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PMD. Elle reprend donc les concepts introduits par Fanger (1970). Elle s'applique dans le cas des ambiances thermiques modérées. De plus, elle a été pensée pour les environnements de travail, mais elle spécifie qu'elle peut s'appliquer à d'autres types d'environnement. Elle est complémentaire à l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) et à l'ISO 7243 (2017) présentées aux sections qui suivent. Cette norme spécifie que « L'insatisfaction peut-être causée par un inconfort chaud ou froid du corps considéré dans son ensemble. » et elle complète « Mais l'insatisfaction peut aussi être causée par des paramètres d'inconfort thermique local. ». (ISO 7730, p.v, 2005) Les conditions d'application de cette norme sont :

- Hommes et femmes en bonne santé ;
- Exposition des occupants à des ambiances intérieures aux écarts modérés de confort thermique possibles ;
- Pour la conception de nouvelles ambiances ou l'évaluation d'existantes.

Elle définit la température opérative comme la « température uniforme d'une enceinte noire virtuelle dans laquelle l'occupant échangerait la même quantité de chaleur par rayonnement plus convection que dans l'environnement réel non uniforme ». (ISO 7730, p.2, 2005) Le PMV se définit sur l'échelle de 7 niveaux

présentée dans la section 2.1.3. Dans cette norme, les niveaux d'échelle ne sont pas nommés de la même façon qu'à la Figure 2-2. Selon la traduction, les nominations peuvent varier. Elle recommande d'utiliser les valeurs du PMV uniquement dans l'intervalle [-2 ;+2].

Dans la norme les sept niveaux sont les suivants ;

- Chaud (+3)
- Tiède (+2)
- Légèrement tiède (+1)
- Neutre (0)
- Légèrement frais (-1)
- Frais (-2)
- Froid (-3)

La formule du PMV y est détaillée. Il n'est pas pertinent de la développer au vu de la complexité de ses termes. On retient que le PMV est une fonction :

- Du métabolisme énergétique ( $W/m^2$ )
- De la puissance mécanique utile ( $W/m^2$ ) ;
- De l'isolement thermique du vêtement ( $m^2.K/W$ ) ;
- Du facteur de surface du vêtement ;
- De la température de l'air ( $^{\circ}C$ ) ;
- De la température moyenne de rayonnement ( $^{\circ}C$ ) ;
- De la vitesse relative de l'air ( $m/s$ ) ;
- De la pression partielle de vapeur d'eau (Pa) ;
- Du coefficient d'échange de chaleur par convection ( $W/(m^2.K)$ ) ;
- De la température de la surface externe du vêtement ( $^{\circ}C$ ).

Les conditions d'utilisation du PMV sont données par les intervalles d'inclusion des six paramètres principaux. L'isolement thermique doit être compris entre 0 à 2 clo. La température de l'air est comprise entre 10  $^{\circ}C$  et 30  $^{\circ}C$ . La température moyenne de rayonnement est comprise entre 10  $^{\circ}C$  à 40  $^{\circ}C$ . La vitesse de l'air est comprise entre 0 et 1 m/s. Enfin, la pression partielle de vapeur d'eau est comprise entre 0 et 2700 Pa. (ISO 7730, 2005) Plusieurs chercheurs ont développé un outil de calcul automatisé du PMV et du PPD associé selon les critères de certaines normes comme celui de Tartarini et al., (2020). Il suffit simplement d'y encoder les valeurs des paramètres connus et le PMV précis est calculé en retour.

L'indice du PPD représente le pourcentage de personnes insatisfaites soient celles qui votent « chaud, tiède, frais ou froid » sur l'échelle de sensation thermique. Sa valeur est déterminée par la formule suivante :  $PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)$ . Il est uniquement fonction du PMV. (ISO 7730, 2005)

La norme fournit un tableau des taux métaboliques à considérer selon l'activité de la personne. Pour les personnes assises, le taux est de 1 met. Il est de 1,2 pour une activité sédentaire, 1,6 pour une activité légère debout et de 2 pour une activité moyenne debout. Elle fournit également les valeurs d'isolation thermique pour

différents vêtements. Pour en citer quelques-uns, on prend 0,03 clo pour les sous-vêtements, 0,09 clo pour les tee-shirts, 0,12 pour les chemises à manches longues, 0,25 pour les pantalons, 0,1 pour des bottes. La liste est composée de 9 catégories de vêtements qui propose plus de 40 items différents auxquels se référer. Enfin, elle spécifie que l'humidité relative possède un faible impact sur les sensations thermiques pour des ambiances modérées. (ISO 7730, 2005)

### 2.3.1.3 ISO 7243

Cette norme internationale est relative aux ambiances chaudes en particulier à l'estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT. Cette norme s'applique pour des évaluations de longues durées de l'effet de la chaleur sur une personne dans sa journée de travail. Elle définit « l'indice WBGT combine la mesure de deux paramètres dérivés, la température humide naturelle et la température du globe noir. » (ISO 7243, p.1, 2017) La norme est abordée ici à titre indicatif de son lien avec le thermomètre à globe noir par le biais de l'indice WBGT.

### 2.3.1.4 ASHRAE 55

L'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) est une norme américaine réalisée par la société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation. L'objectif de cette norme est de présenter les variations des composantes intérieures thermiques et des facteurs individuels qui favorisent la génération d'un environnement thermique confortable pour une majorité des individus. Une section est dédiée à la présentation des conditions qui apporte un confort thermique. Elle reprend les six variables du confort thermique présentées au point 2.1.1. et aborde le PMV et le PPD issus des travaux de Fanger (1970), mais aussi les notions de confort thermique adaptatif issues des travaux de Brager & de Dear, (1998). Ci-dessous sont présentés les concepts relatifs à l'approche analytique du confort thermique. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020)

La norme définit la valeur de l'unité de l'habillement aussi appelée isolation vestimentaire comme :  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ . Des valeurs de clo sont données pour 17 types de vêtements classés par catégories. La norme recommande de déterminer l'isolation vestimentaire de chaque occupant représentatif qui lui correspond. Si des variations de plus de 0,15 clo entre individus sont observés, il n'y est pas conseillé de généraliser la valeur de chaque individu avec une valeur approximative commune. La norme spécifie la non-applicabilité pour les personnes qui aurait une valeur de l'habillement supérieure à 1,5 clo. Des valeurs de taux métaboliques des occupants sont également proposées selon le type d'activité. La valeur de l'unité prise pour les personnes assises est :  $1 \text{ met} = 60 \text{ W}/\text{m}^2$ . Il y est spécifié que la norme ne s'applique pas aux individus dont le taux métabolique excède 2 met. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020)

Deux types de méthodes à appliquer pour déterminer l'environnement thermique acceptable sous un régime permanent sont envisagées avec des conditions d'applications. Pour les deux méthodes, le taux d'humidité n'a aucune limite imposée, pour l'habillement, il doit être compris en 0 et 1,5 clo tandis que l'activité métabolique

doit être incluse entre 1 et 2 met. La seule condition variable aux deux méthodes est la vitesse de l'air. L'une s'applique aux vitesses excédant 0,2 m/s l'autre s'applique à celle inférieure à 0,2 m/s. Seule celle inférieure à la limite est synthétisée. La norme stipule la garantie d'un environnement thermique acceptable si :  $-0,5 < PMV < +0,5$ . Des zones de confort assuré sont représentées sur le diagramme psychrométrique pour des valeurs données de l'habillement, de la vitesse de l'air et de l'activité métabolique. Ce diagramme théorique prend comme variables dans ce cas la température opérative, l'humidité relative, la température du thermomètre mouillé et le ratio des taux d'humidité. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020)

Pour l'évaluation du confort dans les bâtiments existants, la norme n'a pas d'exigences, mais elle propose différents outils d'évaluation. Elle stipule que l'utilisation de questionnaires soumis aux usagers permet d'évaluer sur base de leurs réponses le taux de satisfaction et l'acceptabilité des paramètres du lieu. Les recommandations à suivre pour l'utilisation des deux questionnaires proposés sont d'avoir dans le cas de plus de 45 personnes sollicitées, un taux de réponse supérieur à 35%. Les deux enquêtes accessibles portent sur l'évaluation de la satisfaction générale au sein des lieux et de la satisfaction au moment de compléter le formulaire. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020) Les recommandations à suivre pour la disposition des appareils de mesures sont :

- Si la manière d'occuper les lieux est connue, l'appareil est placé à un endroit où les gens passent du temps ;
- Si elle n'est pas connue, l'appareil est placé au centre de la pièce et à 1 m du centre de chaque mur de la pièce ou à 1 m du centre de la fenêtre la plus large en cas de murs extérieurs avec fenêtres.
- Pour la vitesse et la température de l'air dans le cas d'usagers interrogés assis, les mesures sont prises à 0,1 ; 0,6 et 1,1 m du sol ;
- Pour la température opérative, elle doit être prise à 0,6 m du sol pour le cas d'usagers interrogés assis ;
- Pour les périodes de mesures, elles doivent être inférieures ou égales à 5 minutes excepté pour celle de la vitesse de l'air qui doit être inférieure ou égale à 3 minutes.

Des indications pour l'appareil de mesure quant aux intervalles de chaque paramètre qui doivent être couverts avec un certain degré de précision y sont disposées. Elle spécifie que les enquêtes doivent idéalement être soumises 6 mois après le début de l'occupation des lieux. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020)

## 2.3.2 Le cadre européen

### 2.3.2.1 *EN 16789-1*

La norme EN 16789-1 est une norme européenne qui traite de la performance énergétique des bâtiments, en particulier de la ventilation des bâtiments. Elle aborde le « données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la

performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique ». (EN 16978-1, 2019)

Elle indique la nécessité d'utiliser les critères thermiques (PMV) comme « base pour la définition des données d'entrée pour le calcul des charges de chauffage et de refroidissement, le dimensionnement des équipements et le calcul de la consommation d'énergie ». (EN 16978-1, p.17, 2019) Elle renvoie donc à l'ISO 7730 (2005) pour les indices PMV et PPD. En résumé, elle fournit une série d'indications à suivre dans pour l'évaluation des paramètres liés à la performance énergétique du bâtiment et cela selon entre autres selon le type de bâtiment, le type de système HVAC mis en place et autres paramètres propres au contexte. Elle fournit toutes les informations nécessaires pour la prise en considération des caractéristiques de l'ambiance intérieure dans la consommation énergétique du bâtiment afin d'évaluer la qualité de l'espace étudié. Elle est présentée ici dans sa considération de l'ambiance thermique comme paramètre intrinsèque de la qualité de l'air intérieur. (EN 16978-1, 2019)

### 2.3.2.2 EN 15251

La norme européenne EN 15215 est une norme européenne qui traite des critères d'ambiance intérieure en particulier dans la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique. Elle affirme que l'ambiance intérieure impacte « la santé, la productivité et le confort des occupants » et que « les coûts d'une mauvaise ambiance intérieure pour les employeurs, pour les propriétaires de bâtiments et pour la société sont souvent plus élevés que le coût de l'énergie utilisée dans les mêmes bâtiments. Il a également été montré qu'une ambiance intérieure de bonne qualité peut améliorer l'ensemble des performances de travail et d'apprentissage et réduit l'absentéisme. » (NBN EN 15251, p.5, 2007) Elle s'applique dans le cas de bâtiments non industriels « pour lesquels les critères d'ambiance intérieure sont déterminés par l'occupation humaine et dont l'ambiance intérieure n'est pas notablement influencée par une production ou par des procédés ». (NBN EN 15251, p.6, 2007) Pour la détermination des indices du confort thermique PMV et PPD, elle renvoie à la norme ISO 7730 (2005). Quant aux « instruments de mesure utilisés pour l'évaluation de l'ambiance thermique » (NBN EN 15251, p.21, 2007), elle renvoie à l'ISO 7726 (1998). Elle précise que les mesurages d'hiver doivent être réalisés « à une température extérieure ne dépassant pas sa valeur moyenne statistique des 3 mois les plus froids de l'année ». (NBN EN 15251, p.22, 2007) Elle recommande une période de mesure représentative de 10 jours.

Dans le cas de bâtiments chauffés et climatisés, la catégorie recommandée est celle pour laquelle le PPD est inférieur à 10% et le PMV compris entre -0,5 et +0,5 (catégorie 1). La classe supérieure correspond à un PPD inférieur à 6% et un PMV compris entre -0,2 et +0,2 (catégorie 2). La norme fournit également des températures opératives cibles minimales et maximales selon le type de bâtiment ou d'espace et la catégorie souhaitée. Pour des bureaux dits « paysagés » soient ouverts et une activité métabolique d'environ 1,2 met, la température opérative doit être de minimum 20 °C en période hivernale pour une isolation thermique d'environ 1 clo (catégorie 2). (NBN EN 15251, p.25, 2007)

### 2.3.3 Le cadre belge

#### 2.3.3.1 *Code du bien-être au travail – Livre 5*

Ce texte juridique présente au livre 5 dans le chapitre 1<sup>er</sup> du titre 1<sup>er</sup> les ambiances thermiques. Des indications de températures minimales de température de l'air sont à respecter par l'employeur selon la charge physique de travail. Pour un travail très léger, la température minimale est de 18 °C. Pour un travail léger, elle est de 16 °C. Ce texte de loi fait référence à la norme ISO 7730 pour « les prescriptions et usages courants en matière de confort sur le lieu de travail ». (Article V.1-1 du Code du bien-être au travail, p.343, 2017)

#### 2.3.3.2 *RGPT règlement général pour la protection du travail*

Le texte du règlement général pour la protection du travail indique dans le titre 2 à l'article 64 des intervalles de température selon le type de charge physique effectuée. Il est tenu à l'employeur de respecter ces valeurs. Pour un travail très léger, il fixe une température ambiante minimale de 20 °C. La température ambiante maximale est de 30 °C. Pour les travaux légers, il fixe la température minimale à 18 °C et maximale à 30 °C également. De plus, des seuils sont également fournis pour l'humidité relative et la vitesse de l'air. La première doit être comprise entre 40 et 70% (flexible pour les bâtiments ventilés naturellement). Tandis que la vitesse de l'air ne doit pas excéder 0,5 m/s. (Article 64 du Règlement général pour la protection du travail, 1946)

#### 2.3.3.3 *Réglementation PEB : performance énergétique des bâtiments*

Cette réglementation est d'application pour tous les bâtiments en Région wallonne. Elle a pour objectif la réduction de la consommation énergétique primaire des bâtiments en s'assurant d'apporter un confort intérieur à l'occupant. Vis-à-vis du confort thermique, la PEB se concentre surtout sur le confort thermique d'été avec une exigence à respecter sur la variable de la surchauffe du bâtiment. Au-delà de 17 500 kh, le seuil d'acceptabilité est dépassé. La PEB engage tout de même à rester sous un certain seuil de consommation énergétique théorique. Dans les grandes lignes, elle prend en compte l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air, le rendement du système de chauffage et la ventilation en place. Les seuils d'exigence sont définis selon la destination et la nature des travaux. Un certificat PEB doit être délivré par un responsable agréé. Sur ce certificat, une indication sous forme de lettre de A à G est donnée pour qualifier la qualité du bâtiment selon les exigences de la réglementation. (SPW, s. d.)

## 2.4 **Les open-spaces**

### 2.4.1 Sa définition

Un « open-space » est un terme provenant de l'anglais qui définit une manière de structurer un espace de travail. L'espace est laissé sans cloisonnement structurel, offrant un volume de travail plus ou moins grand à partager entre plusieurs employés.

La taille du groupe contenu varie selon les entreprises. Ce genre d'aménagement est aussi appelé « bureau paysager ». Le degré d'intimité est plus ou moins variable selon les modules d'aménagement choisis, mais il n'y a pas de réelles barrières physiques qui séparent les employés (cf. Figure A.3 - 5 : un exemple d'aménagement). (Captif, 2019)

## 2.4.2 Ses enjeux

La conception des bureaux en open-space a été développée dans le but de promouvoir davantage de communication et de collaboration entre les travailleurs. (Navai & Veitch, 2003) Cependant, l'un des plus grands enjeux des open-spaces est la gestion des paramètres de qualité de l'environnement intérieur. L'acoustique relève souvent des défis d'importance supérieure à ceux du confort thermique. Le partage d'un environnement commun implique l'imposition de chaque bruit généré aux autres collaborateurs. L'absence de cloisonnement engendre aussi des enjeux individuels sur la perception de l'intimité, la capacité d'inhibition et la productivité. La satisfaction des employés et leur performance dépendent entre autres dans ce genre d'espace de leur capacité à inhiber leurs réactions comportementales ou de leur perception de l'intimité. Une faible capacité d'inhibition semble être le facteur de diminution de la satisfaction des employés le plus marquant pour ce genre d'espace. Ces espaces permettent aussi en théorie des économies (espace optimisé) tout en augmentant la productivité du groupe. (Maher & von Hippel, 2005) La concentration des employés peut se voir réduite. Cependant, les facteurs déterminants dans la satisfaction des employés dépendent surtout de la manière dont l'espace a été conçu. L'architecte est responsable de la qualité du cadre de travail fournie par l'open-space. (Captif, 2019)

## 2.5 La mise en place d'une enquête de bien-être

Il y a plusieurs avis sur les étapes de l'élaboration d'une enquête qualitative de bien-être. Cette section présente une liste non exhaustive de recommandations issues de la littérature scientifique.

Tout d'abord, il existe une norme internationale relative aux échelles de jugements subjectifs pour l'évaluation des environnements physiques. Il s'agit de l'ISO 10551 (2019). Elle fournit des indications quant à la construction d'échelles subjectives utilisées pour « demander à des personnes ce qu'elles pensent de leur environnement thermique ». (ISO 10551, 2019, p.v) Il est important de noter que cette norme ne s'applique pas aux échelles de douleurs. Par contre, elle fournit des indications pour les échelles « de perception, de confort, de préférence, d'acceptabilité, de forme d'expression et de tolérance, et les aspects environnementaux tels que l'aspect thermique, l'aspect visuel, la qualité de l'air, l'acoustique et les vibrations ». (ISO 10551, 2019, p.1) Elle indique que pour les échelles de jugement, le jugement peut-être accentué sur « le perceptif ou l'affectif, le global ou le localisé, l'actuel ou le passé, l'instantané ou l'étendu sur un laps de temps ». Elle précise bien que « la terminologie utilisée pour dénommer les degrés des échelles de jugement est particulièrement importante ». Différentes problématiques listées sont à considérer (ISO 10551, 2019, p.2-3) :

- La spécificité des questions ;
- La langue ;
- La clarté ;
- Les questions suggestives ;
- La réputation ;
- Le biais ;
- Les questions embarrassantes ;
- Les questions hypothétiques ;
- Les questions impersonnelles.

Elle précise : « Il y a une certaine utilité pour l'enquêteur à prendre en compte un grand nombre d'impacts environnementaux et une variété d'échelles. Cependant, il faut concilier le désir de données avec la volonté des participants d'exprimer des perceptions exactes, et la tolérance de l'encadrement vis-à-vis du temps nécessaire à y consacrer. L'enquête est mieux accueillie si elle est axée sur des préoccupations environnementales légitimes spécifiques à l'environnement en question. Les échelles utilisées et l'aspect ergonomique évalué doivent aller à l'essentiel et fournir des données exploitables. ». (ISO 10551, 2019, p.4) Plusieurs structures d'échelles sont détaillées selon le type. Par exemple, l'échelle de préférence possède un degré d'indécision égal à 0 et deux fois 3 degrés d'intensité croissants (de -3 à 0 et de 0 à +3). L'échelle évaluative possède plutôt un degré d'origine (0) et au moins 3 degrés d'intensité supérieurs (1-2-3-...). Des exemples d'échelles précises y sont fournis. Par exemple, une bonne échelle de préférence thermique irait du degré -3 à +3 avec les qualificatifs « beaucoup plus froid » et « beaucoup plus chaud » associés aux extrêmes. Le neutre est alors 0 : « Ni plus chaud, ni plus froid ». (ISO 10551, 2019, p.10) Cette norme est à considérer comme un outil d'aide à la conception du questionnaire.

L'ouvrage de Debaty (1967) propose quelques conseils à suivre dans la construction d'un questionnaire qui se base sur des attitudes ou des opinions. Il y est dit qu'il est préférable de se référer au présent plutôt qu'au passé. Les items qui relatent des faits sont à éviter. Les interprétations multiples de la formulation sont à éviter. Il est préférable de mettre des questions uniquement en lien avec l'objet testé. Pour certaines questions, tout le monde peut y adhérer, la prise de position est plus facile à traiter. L'échelle proposée doit pouvoir être entièrement couverte selon l'item de la question. Le langage se doit d'être simple, clair et direct. Un maximum de 20 mots par questions est recommandé. La pensée derrière chaque question doit être complète. L'utilisation de certains mots est peu recommandée (tous, jamais, aucun,...), car elle peut mener à des ambiguïtés d'interprétation. Les mots doivent être choisis en fonction du public auquel il s'adresse. Les doubles négations sont à éviter. La question exprime préférentiellement une opinion et non un fait. La prise de position du répondant doit être préférentiellement induite par une formulation à la voix active. (Debaty, 1967)

De manière générale, les questions ouvertes (réponses laissées libres au répondant) sont plus difficiles à traiter à l'aide d'une analyse statistique puisque les réponses ne sont pas catégorisables. Les questions fermées (limite du choix de réponses parmi une sélection imposée) sont recommandées pour cette étude. Un

autre ouvrage de Bluysen (2014) invite à se poser trois grandes questions avant d'évaluer la qualité d'un environnement intérieur. Les voici :

- « Comment et pourquoi les gens réagissent-ils aux facteurs de stress externes ? »
- « Comment évaluer la santé et le confort (bien-être) des personnes dans l'environnement intérieur ? »
- « De quoi avons-nous besoin pour évaluer et/ou prévoir les effets ou les réactions ? »

Ensuite, le texte de Lugen (2015) introduit comme avantages de l'enquête qualitative une « validité interne forte », une « analyse approfondie du contenu » et une « mise en avant des perceptions, expériences, attitudes, etc. ». Les inconvénients cités sont « une validité externe faible » et une « faible représentativité ». Pour les enquêtes quantitatives, les avantages cités sont une « validité externe forte », une « représentativité du groupe » et une « comparaison aisée des données ». Concernant les inconvénients de cette méthode, il cite une « validité interne faible » et une « possibilité amoindrie d'analyse du contenu ».

Enfin, l'ouvrage de Roulet (2008) propose une liste de questions à se poser avant de démarrer la récolte de données relatives au confort thermique fourni par un bâtiment. Il est important avant toute chose de centrer la démarche sur le bien-être de l'occupant et sur la meilleure façon d'en recueillir les données associées. Voici les thématiques des questions à se poser abordées dans l'ouvrage :

- 1) Quel est l'objectif de la recherche ?
- 2) Quelle(s) information(s) faut-il pour répondre à cet objectif ?
- 3) Comment obtenir cette/ces information(s) ?
- 4) Comment interpréter l'information recueillie pour répondre à la question ?
- 5) Quels sont les outils nécessaires pour obtenir l'information ?
- 6) Sous quelles conditions se réalise la prise de données ? (Sur qui, où, comment ?)

## **2.6 Études similaires et lacunes dans les connaissances**

Dans cette partie, les études les plus pertinentes au regard du sujet de la recherche sont présentées brièvement dans le Tableau 2-1. Il reprend les objectifs de l'étude, ses paramètres/variables, les résultats intéressants pour ce travail et le gap scientifique associé à la recherche présentée. Les études sont sélectionnées pour leur similitude thématique ou méthodologique. Les approches méthodologiques

particulièrement pertinentes sont présentées plus en détail dans le texte qui suit. Ensuite, les lacunes dans les connaissances seront abordées plus en détail.

La recherche de Bajc & Milanović (2019) propose une méthodologie qui se base sur les normes ISO 7730 (2005) et NBN EN 15251 (2007) pour comparer la différence entre les résultats attendus grâce à celles-ci et les résultats observés. L'étude se déroule en période hivernale sur une durée d'observation d'environ 25 jours et en période estivale sur une durée d'environ 5 jours. Deux types de bureaux sont observés. Le cadre de l'étude est expérimental avec 2 usagers observés à la fois pour chaque pièce. Les mesures de températures extérieures et d'humidité relative sont récoltées toutes les 15 minutes à l'aide de la sonde Testo 175H1. Les appareils de mesures sont disposés selon les recommandations de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). L'appareil Testo 435 est utilisé pour les usagers assis. Des enquêtes statistiques sont menées tous les jours après les heures de travail des occupants soumis au protocole après que le bilan thermique avec l'environnement ne soit atteint. La norme ISO 10551 (2019) a servi à l'élaboration de l'enquête. Le détail de l'analyse méthodologique des données récoltées n'est pas explicité dans la méthodologie. (Bajc & Milanović, 2019)

Le cadre de la recherche de Bluysen et al. (2011) s'intègre dans un projet à grande échelle mené sur 3 ans par la Commission Européenne. Au total, 164 bâtiments, dont 69 de bureaux, sont étudiés. Les bâtiments ont tous été l'objet d'abord d'une étude de ses caractéristiques ; ensuite d'un entretien avec la direction ; enfin d'enquêtes soumises aux occupants. Le nombre de répondants finalement inclus dans l'étude est de 5732. Les questionnaires reprennent l'évaluation du confort perçu selon différentes thématiques (température, qualité de l'air, lumière, bruit, confort) sur une échelle à 7 niveaux. Le même questionnaire est soumis en été et en hiver. Ensuite, les données ont été soumises à l'analyse statistique appelée en anglais « principal component analysis » et au test de fiabilité à l'aide de l'alpha de Cronbach. L'étape qui suit est l'analyse statistique de l'indépendance de l'observation entre le bâtiment et le pays. Enfin, une régression linéaire est effectuée pour évaluer le lien entre les facteurs du confort et les facteurs sociaux et propres au bâtiment. (Bluysen et al., 2011)

L'étude de Hu et al., (2022) propose l'utilisation de questionnaires de satisfaction combinée à une prise de mesure in situ pour évaluer l'impact de la différence des genres et de l'âge sur la satisfaction. La station d'instruments de mesure est constituée d'une caméra à contraste, de sondes de température de l'air et d'humidité (à 1,1 m du sol), d'une sonde de température de l'air, de CO<sub>2</sub>, de CO et TVOC (à 60 cm du sol) et d'une dernière sonde de température de l'air à proximité du sol (10 cm). L'appareil est placé à l'endroit de la chaise du répondant pendant 15 minutes pour chaque participant à l'étude. La température radiante est mesurée à l'aide de dispositif manuel. Pendant la durée d'enregistrement de la sonde, l'utilisateur est soumis aux 25 questions de l'enquête. Chaque question est évaluée sur une échelle à 7 niveaux. Ensuite, les données récoltées font l'objet d'un regroupement par groupe d'âge et par genre. Différents types de tests statistiques sont ensuite opérés (test t, ANOVA) pour analyser la satisfaction des groupes selon les variables des questionnaires. La base de la théorie du confort thermique est reprise de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) pour cette étude.

Ensuite, Z. Li et al. (2022) ont établi une méthodologie rigoureuse pour évaluer la différence de perception de groupes pour l'environnement intérieur d'open-spaces situés en zone de climat froid. Dans ce cas, une sonde climatique située sur le toit de l'immeuble est utilisée pour évaluer les températures de l'air extérieures et les niveaux d'humidité de manière continue. La sonde respecte la norme ISO 7726 (1998). Les paramètres intérieurs de l'environnement ont également été mesurés sur base des recommandations issues de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Le questionnaire soumis aux usagers a été élaboré à l'aide des normes ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) et l'EN 16978-1 (2019). L'analyse statistique de la fiabilité du questionnaire est réalisée à partir de l'alpha de Cronbach. Pour comparer les groupes, l'utilisation de tests non paramétriques U de Mann-Whitney et de Kruskal-Wallis servent à l'analyse statistique des résultats.

L'étude de Maykot et al. (2018) évalue également le confort thermique dans les bâtiments de bureaux avec une prise en compte de la variable du genre. Tout d'abord, plusieurs stations microclimatiques permettent de récolter les données mesurées dans l'environnement. La température de l'air, la température opérative, l'humidité relative et la vitesse de l'air sont récoltées. Les microstations sont placées le plus au centre possible des bureaux. Les recommandations des normes ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) et ISO 7726 (1998) pour le placement des sondes sont suivies. Des thermomètres et anémomètres portables sont utilisés pour mesurer des données locales de la température de l'air et de la vitesse de l'air. Une enquête est soumise en complément à la récolte des paramètres. Les deux paramètres individuels du confort thermique sont évalués à l'aide de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Le questionnaire est divisé en 6 étapes de 20 minutes chacune. L'analyse statistique de données se fait à l'aide d'une régression linéaire pour évaluer le lien entre la température opérative et la sensation thermique. Ensuite, afin de tester la différence entre les genres pour le confort thermique, le test non paramétrique U de Mann-Whitney est opéré.

Le Tableau 2-1 reprend dans sa dernière colonne le gap scientifique observé pour l'étude présentée. On remarque que beaucoup d'études ne précisent pas les hypothèses posées dans l'élaboration des questionnaires. On ne sait pas déterminer si les variables intrinsèques à la femme ne sont pas étudiées par choix de ne pas les prendre en compte ou hypothèse d'une non significativité de ce paramètre dans le confort thermique. Une autre cause peut-être simplement un manque de considération de ces facteurs, car ils sont très peu abordés dans la théorie du confort thermique. Parfois, les articles ne donnent aucune indication sur les questions posées hormis de simples indications des thèmes abordés. Ceci crée un flou dans la recherche pour l'établissement d'un questionnaire fiable et valide. Les recherches passent souvent directement à l'analyse des résultats sans expliquer pourquoi les questions sont posées de telle ou telle manière. La formulation est pourtant importante, car elle impacte les résultats obtenus. La norme ISO 10551 (2019) présentée à la section 2.5 appuie ce propos.

Tableau 2-1 : Tableau comparatif d'études similaires à l'étude présentée

Référence de l'étude	Objectif(s) de l'étude	Paramètre(s) et variable(s) étudié(e)(s)	Résultats principaux	Gap scientifique
(Attia et al., 2019)	Développer une enquête valide pour l'évaluation de la qualité de l'environnement intérieur dans les immeubles de bureaux avec des façades adaptatives	<ul style="list-style-type: none"> <li>-L'interaction entre les occupants et l'environnement de travail dans les bâtiments à façade adaptative ;</li> <li>-La satisfaction des occupants vis-à-vis de la qualité de l'environnement intérieur ;</li> <li>-La validité du questionnaire proposé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-140 participations valides ont été prises en compte ;</li> <li>-La majorité des occupants sont insatisfaits à l'égard de la façade ;</li> <li>-La classification des questions et leur formulation ont dû être modifiées à la suite d'analyses statistiques (CFA &amp; EFA) ;</li> <li>-Les corrélations testées pour le questionnaire sont finalement suffisantes pour regrouper les 15 questions en 3 domaines principaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans la création du questionnaire ;</li> <li>-Questionnaire proposé applicable pour un type de bâtiment spécifique (façade adaptative dans les immeubles de bureaux).</li> </ul>
(Bajc & Milanović, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Analyser les différences entre les réponses des hommes et des femmes pour le confort thermique, le niveau de bruit et la qualité d'air intérieur dans les bureaux ;</li> <li>-Mettre en évidence les différences entre les résultats attendus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les réponses des hommes et des femmes selon la question étudiée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Une différence significative entre les hommes et les femmes est observée pour certaines réponses ;</li> <li>-Les hommes sont plus sensibles aux températures élevées ;</li> <li>-Les femmes se sentent plus à l'aise dans un environnement légèrement plus chaud.</li> <li>-Les femmes ont une plus grande tolérance aux températures élevées ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas d'informations précises sur l'élaboration des questions posées ;</li> <li>-Pas d'informations précises sur les questions à caractère personnel posées vis-à-vis du genre (mention de questions posées sur l'âge, le genre, l'habillement, le niveau d'activité, et la condition physique).</li> </ul>

	et les résultats réels de l'enquête in situ.		<p>-La différence entre la sensation des hommes et des femmes est particulièrement visible dans la gamme des sensations neutres à chaudes ;</p> <p>- Les femmes sont plus sensibles au manque d'air frais qui peut leur causer des nuisances (maux de tête, somnolence,...) et impacter leur productivité et concentration.</p>	
(Bluyssen et al., 2011)	-Comprendre davantage les relations entre les facteurs liés au bâtiment, à la société et à la personne avec le confort perçu ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les caractéristiques des bâtiments de l'étude ;</li> <li>- Les données des entretiens avec les directions des bâtiments ;</li> <li>- Les sensations et perceptions des occupants fournis par les enquêtes : données à caractères personnels, données propres à la relation bâtiment-occupant, données sociales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le confort perçu est fortement influencé par plusieurs facteurs personnels, sociaux et liés au bâtiment avec des relations entre ces variables complexes ;</li> <li>- Le confort perçu est davantage important que la moyenne de la qualité de l'air intérieur, du bruit, de l'éclairage et de la température perçus ;</li> <li>- Les femmes sont moins satisfaites que les hommes de leur confort ;</li> <li>-Plus le répondant est insatisfait, plus le confort déclaré est faible ;</li> <li>-Plus le répondant est satisfait du contrôle de leur environnement intérieur, plus elles sont satisfaites de leur confort.</li> </ul>	-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire.
(G. Brager et al., 2015)	-Proposer des nouvelles manières d'aborder les problématiques engendrées par la relation performance énergétique et	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les données issues des questionnaires ;</li> <li>-Les caractéristiques des systèmes HVAC des bâtiments ;</li> <li>- La relation entre la satisfaction de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La recherche sur le terrain à grande échelle a montré l'ampleur de l'insatisfaction des occupants à l'égard des environnements thermiques actuels ;</li> <li>-L'une des causes est l'incapacité des occupants à ajuster l'environnement individuellement pour répondre à leurs besoins personnels ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte du genre dans l'étude ;</li> <li>- Pas d'informations précises sur l'élaboration des questions posées.</li> </ul>

	<p>confort apporté à l'occupant ;</p> <p>- Améliorer les expériences thermiques grâce aux nouvelles propositions pour les phases de conception et d'exploitation des bâtiments.</p>	<p>l'occupant et les performances énergétiques du bâtiment.</p>	<p>-Le mouvement de l'air intérieur doit être d'-avantage étudié dans les recherches ;</p>	
<p>(Choi et al., 2010)</p>	<p>-Étudier les effets du sexe et de l'âge des occupants sur la satisfaction thermique dans les environnements de bureau.</p>	<p>- Collectes de mesures (T°, HR, ...) in situ ;</p> <p>-Enquêtes de satisfaction des occupants.</p>	<p>- Suite à l'analyse statistique, les résultats montrent que les femmes sont plus insatisfaites que les hommes en particulier en été ;</p> <p>-En hiver, au printemps et en été, il n'y a pas de différences significatives entre les genres dans la satisfaction du confort thermique ;</p> <p>-Les occupants de plus de 40 ans sont plus satisfaits que ceux de moins de 40 ans pendant la saison de refroidissement.</p>	<p>- Pas d'informations précises sur l'élaboration du questionnaire.</p>
<p>(De Carli et al., 2007)</p>	<p>-Analyser le comportement vestimentaire sur base des facteurs extérieurs et intérieurs qui motivent le choix des vêtements.</p>	<p>-Paramètres externes et internes au choix des vêtements ;</p> <p>-Effet de la climatisation ;</p> <p>-Température extérieure.</p>	<p>- Dans les bâtiments climatisés, une variation de 0,1 clo suffit à changer l'évaluation du confort ;</p> <p>- La différence entre les genres n'est pas significative dans le comportement vestimentaire ;</p> <p>- Une légère différence de valeurs minimales d'habillement est observée entre les genres à cause d'aspects liés à la culture locale ;</p> <p>- La température extérieure à 6 h du matin semble affecter le plus le choix des vêtements.</p>	<p>- Recherche basée sur une base de données issue d'une précédente étude : pas d'informations précises sur la manière de recueillir les données (habillement, questions liées au genre, mesures in situ,...).</p>

<p>(Du et al., 2023)</p>	<p>-Explorer la différence entre les sexes en matière de confort thermique en présence de facteurs environnementaux couplés.</p>	<p>- Combinaisons de températures de l'air et de vitesses de l'air ;          -La variable du genre ;          -La température de la peau en 7 points différents.</p>	<p>-Une différence significative est observée : les femmes ont plus froid, sont plus dans l'inconfort et perçoivent des courants d'air plus forts que les hommes dans les environnements froids ;          -Les hommes ont tendance à être plus dans l'inconfort et à préférer une vitesse d'air plus élevée que les femmes dans les environnements chauds.          -L'effet combiné d'une température de l'air basse/neutre et d'une vitesse de l'air élevée exacerbe les différences entre les sexes dans le vote de la sensation thermique.          -Pour des conditions plus froides, les avant-bras des femmes ont des températures significativement plus faibles que celles des hommes. La cause évoquée est la plus grande capacité de thermorégulation des hommes.          -Le modèle de vitesse d'air élevée de la norme ASHRAE 55-2020 surestime l'effet de refroidissement pour les deux sexes.</p>	<p>- Pas d'informations précises sur l'élaboration du questionnaire.          - Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire.</p>
<p>(Hu et al., 2022)</p>	<p>Étudier les plages de température optimales pour un confort agréable, des performances productives et une faible prévalence du syndrome du bâtiment malsain pour les étudiants dans les salles de classe universitaires.</p>	<p>-La variable du genre dans le confort thermique, la performance au travail et le syndrome du bâtiment malsain ;          -Les températures idéales ;          -Les symptômes du syndrome du bâtiment malsain ;</p>	<p>- Dans les environnements frais, les hommes ont montré un meilleur confort, plus de performance et moins d'impact du syndrome du bâtiment malsain que les femmes.          - Les hommes sont plus susceptibles à la somnolence que les femmes lorsque la température intérieure augmente ;          -Les hommes ont plus facile de se concentrer dans des températures basses, les femmes ne sont pas impactées par cette variable.</p>	<p>- Pas d'informations précises sur l'élaboration du questionnaire ;          - Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire ;          -Étude réalisée pour un cas spécifique (salle de classes universitaires).</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-La productivité ;</li> <li>-La concentration.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les femmes présentent plus de symptômes du syndrome du bâtiment malsain dans les environnements frais que les hommes en raison d'une moins bonne tolérance aux basses températures que les hommes.</li> </ul>	
(Kim et al., 2013)	Étudier la différence des genres dans la perception de différents facteurs de la qualité de l'environnement intérieur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La variable du genre ;</li> <li>-Les quinze facteurs de qualité de l'environnement intérieur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les niveaux de satisfaction des occupants féminins y sont systématiquement inférieurs à ceux des hommes pour les quinze facteurs de qualité de l'environnement intérieur évalués ;</li> <li>- Une association significative entre le sexe féminin et l'insatisfaction à l'égard des facteurs testés est identifiée. La différence entre les sexes est plus importante pour l'environnement thermique, la qualité d'air intérieur et la propreté de l'espace de travail ;</li> <li>- Le pourcentage de femmes ayant déclaré avoir un travail de « soutien administratif » est le double des hommes ;</li> <li>- Les femmes y sont 1,65 fois plus susceptibles d'être insatisfaites de la température de leur espace de travail que les hommes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Une seule question posée en lien avec le confort thermique (satisfaction de la température) ;</li> <li>- Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire.</li> </ul>
(Z. Li et al., 2022)	Analyser la différence entre groupes de perception de l'environnement intérieur dans le cas de bureaux en open-space dans une région à climat très froid	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le genre ;</li> <li>-L'IMC ;</li> <li>-L'âge ;</li> <li>-Le positionnement ;</li> <li>-Le niveau d'éducation ;</li> <li>-La satisfaction des facteurs de qualité de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-L'étude révèle une plus faible tolérance des sujets en surpoids à des températures plus élevées que les autres sujets ;</li> <li>-Les sujets assis près des fenêtres y ont des votes de confort thermique plus faibles que les sujets assis à d'autres endroits ;</li> <li>- Les femmes tolèrent mieux les températures intérieures plus élevées que les hommes dans les zones à climat très froid malgré un habillement assez semblable entre les deux sexes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire ;</li> <li>-Étude menée dans un type de climat (très froid) ;</li> <li>-Pas d'informations précises sur le processus</li> </ul>

		l'environnement intérieur.		d'élaboration du questionnaire.
(Lindberg et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examiner comment l'environnement thermique d'un supermarché est perçu par les clients et le personnel, en comparant des mesures objectives (physiques) et subjectives (questionnaire) prises in situ ;</li> <li>-Fournir des informations utiles à l'élaboration des environnements thermiques des supermarchés pour satisfaire les clients.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les clients du supermarché ;</li> <li>-Le personnel du supermarché ;</li> <li>-Les mesures in situ ;</li> <li>-Le confort perçu ;</li> <li>-Le confort mesuré.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le confort thermique dépend du bilan thermique avec l'environnement mais aussi du temps d'exposition du corps dans l'environnement ;</li> <li>-Les résultats révèlent que les conditions extérieures influencent les conditions intérieures, la température de l'air est plus basse aux trois niveaux mesurés ;</li> <li>- Les différences entre le PMV perçu et le PMV prédit sont très probablement dues à la différence de température entre les saisons ;</li> <li>- Les résultats indiquent que le niveau de température ambiante est plus important que le gradient de température pour la perception du confort thermique dans les zones d'aliments réfrigérés des supermarchés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas d'analyse portée sur la différence entre genres ;</li> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du questionnaire ;</li> <li>-Uniquement 3 questions posées en lien avec le confort thermique (toutes liées à la température de l'air) ;</li> <li>-Étude réalisée pour un cas spécifique (environnement thermique des supermarchés).</li> <li>-Certaines valeurs des paramètres du confort thermique sont parfois estimées (habillement, activité métabolique).</li> </ul>
(Maykot et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déterminer la température de confort des hommes et des femmes pour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mesures in situ ;</li> <li>-La variable du genre ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La valeur moyenne pour l'isolation des vêtements y est légèrement inférieure pour les hommes par rapport aux femmes (mode de ventilation mixte) ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre</li> </ul>

	différents types d'immeubles de bureaux (ventilation naturelle et/ou climatisation).	-Le type de ventilation en place.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On y observe que l'inconfort lié au froid est plus important que celui lié à la chaleur pour les deux sexes (mode de ventilation mixte) ;</li> <li>-L'habillement est significativement différent entre les genres dans les bureaux à climatisation ;</li> <li>-Pour les bâtiments à mode de ventilation mixte et ceux à ventilation naturelle, les femmes ont une température de confort supérieure à celle des hommes ;</li> <li>-Les températures de confort sont réduites dans le bâtiment à mode de ventilation mixte pour les deux genres.</li> </ul>	<p>dans l'élaboration du questionnaire ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas d'informations précises sur l'élaboration du questionnaire.</li> </ul>
(Tuomaala et al., 2013)	-Proposer un nouvel outil de prédiction du comportement thermique du corps humain.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IMC ;</li> <li>-État de santé ;</li> <li>-Genre ;</li> <li>-Âge ;</li> <li>-Répartition des tissus ;</li> <li>-Température de la peau ;</li> <li>-Sensations thermiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'augmentation de l'âge semble diminuer les valeurs de sensations thermiques ;</li> <li>-Les valeurs de sensation thermique des femmes sont plus faibles que celle des hommes à IMC égaux et niveau de santé ;</li> <li>-L'IMC impacte peu la sensation thermique ;</li> <li>-Des valeurs élevées de l'indice de niveau de santé (bonne santé) impactent le plus une augmentation de la valeur de la sensation thermique ;</li> <li>-Les observations sont liées aux ratios des quantités de masse grasseuse et de masse musculaire car le taux métabolique augmente avec une augmentation de la masse grasseuse et une diminution de la masse musculaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques au genre dans l'élaboration du modèle prédictif thermique (menstruations, ménopause, grossesse,...) ;</li> <li>-Outil de prédiction qui n'est pas lié à des mesures relevées réelles (détachement de la réalité).</li> </ul>
(Weilan et al., 2022)	-Corriger le modèle de prédiction du vote moyen (PMV) pour l'évaluation du confort thermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facteurs liés à la grossesse ;</li> <li>-Humidité relative ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En théorie, le taux métabolique des femmes enceintes évoluent avec l'avancement de la grossesse. Le métabolisme réel des femmes enceintes au début de la grossesse, au deuxième trimestre, à la fin du trimestre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de prise en compte des caractéristiques intrinsèques à la grossesse dans</li> </ul>

	des femmes enceintes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Température moyenne radiante ;</li> <li>-Vitesse de l'air ;</li> <li>-Température de l'air.</li> </ul>	<p>et après l'accouchement est presque constant dans l'étude.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Quel que soit le taux métabolique global d'une femme enceinte, il existe une différence significative entre la valeur prédictive sensorielle thermique et la sensation thermique réelle. Le modèle PMV devrait être révisé pour une prédiction plus précise de la sensation thermique réelle des femmes enceintes.</li> <li>- Lorsque le taux métabolique global d'une femme enceinte est de 1,2 met, le modèle PMV peut mieux prédire la sensation thermique réelle de la femme enceinte</li> <li>-Le modèle PMV corrigé des femmes enceintes correspond bien à la réalité thermique sensorielle : il peut-être utilisé pour prédire la sensation thermique réelle de la femme enceinte.</li> </ul>	<p>l'élaboration du modèle prédictif thermique ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Étude menée dans un type de climat (climat chaud et humide)</li> </ul>
--	-----------------------	--	--	---

## 2.7 Conclusion

La théorie du confort thermique est complexe et présente encore à l'heure actuelle des zones floues à élucider. En effet, le confort thermique est un concept qui fait intervenir tout un système de variables dynamiques parfois impossibles à modéliser avec justesse. Les concepts du confort thermique sont regroupés dans un système multidisciplinaire complexe. La médecine doit s'intéresser davantage à ce concept au vu de l'impact de la thermorégulation individuelle sur le niveau de confort perçu. La psychologie doit aussi s'intéresser davantage au confort thermique puisqu'une part psychique de l'individu y contribue. Il est souvent réduit dans le monde de l'ingénierie à une vision d'un problème qui dépend de paramètres externes aux fonctions cognitives individuelles. Le travail se base toutefois sur la théorie empirique de Fanger au travers des normes présentées à la section 2.3. La méthodologie développée pour répondre à la question de recherche s'appuie sur une partie des nombreuses études préalables menées. L'étude propose toutefois une trame innovante dans la prise en considération des facteurs intrinsèques au cycle féminin. Elle innove aussi par une remise en question des enquêtes issues de normes. Elles utilisent la théorie du confort thermique simplifiée dans la considération du genre.

## 3 Méthodologie

### 3.1 Introduction

Ce troisième chapitre est destiné à présenter en détail la méthodologie appliquée. Elle vise à permettre de récolter, de traiter et d'analyser des données afin d'apporter des réponses concluantes à la question de recherche principale. Pour rappel, la question de recherche principale ainsi que les sous-questions de recherche sont les suivantes :

**Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?**

1. Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?
2. Quels sont les profils d'usagers interrogés au sein du bâtiment ?
3. Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?
4. Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?
5. Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

Afin de tenter de répondre à ces questions rigoureusement, une approche de type qualitative est combinée à une approche de type quantitative. Le choix des méthodes de recherche est détaillé à la section 3.2. Le bâtiment ayant accueilli la récolte des données est présenté brièvement dans la partie 3.5. Quant aux variables et indicateurs de la recherche, ils sont présentés dans la section 3.4. Les hypothèses de travail ainsi que les forces et faiblesses de la méthodologie sont explicitées aux sections respectives 3.11 et 3.12.

En guise d'introduction, le schéma de la Figure 3-1 illustre les cinq grandes phases de la méthodologie. La Figure 3-2 illustre plus en détail les processus sous-jacents.



Figure 3-1 : Schéma simplifié des cinq phases de la méthodologie appliquée

## 3.2 Description des méthodes de recherche

Comme introduit précédemment, la recherche se veut observationnelle d'un groupe de répondants et est soutenue par une partie quantitative et une partie qualitative.

La partie qualitative est supportée par la mise en place d'une enquête du confort thermique au sein d'un bureau aménagé en open-space. L'espace étudié est présenté dans la section 3.5. Elle engage la récolte de données, qui au travers d'une analyse observationnelle, permet de comprendre comment les employés ressentent l'espace dans ce type d'aménagement. La particularité de cette étude est que l'enquête soumise est issue d'un questionnaire repris de la norme américaine ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) qui est complété de questions de la chercheuse dites « qualitatives ». La notion qualitative de l'enquête est liée à l'approche qui se veut explicative et compréhensive de l'objet de l'étude. La partie quantitative de l'enquête reprend plutôt les questions qui expliquent des faits sur base de données quantitatives. La description complète du questionnaire est opérée dans les sections 3.4 et 3.9.

La partie quantitative de la recherche prend place par la récolte de données (température de l'air, température opérative, vitesse, et humidité relative de l'air) au moyen d'un appareil de mesure placé dans l'espace soumis à l'enquête. Il est décrit dans la section 3.4.

La combinaison de ces deux approches méthodologiques permet d'appuyer l'analyse des résultats subjectifs personnels issus de l'enquête grâce à des données objectives mesurées in situ. La triangulation des deux approches est réalisée grâce à la recherche dans la littérature scientifique existante présentée dans le chapitre 2.

## 3.3 Cadre conceptuel de l'étude

La Figure 3-2 permet de visualiser de façon synthétique les différentes étapes de la méthodologie appliquée et leurs structures correspondantes. On y retrouve deux processus itératifs pour les phases de Préparation et de l'Enquête pilote. Les cinq phases sont explicitées dans les sections 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10.

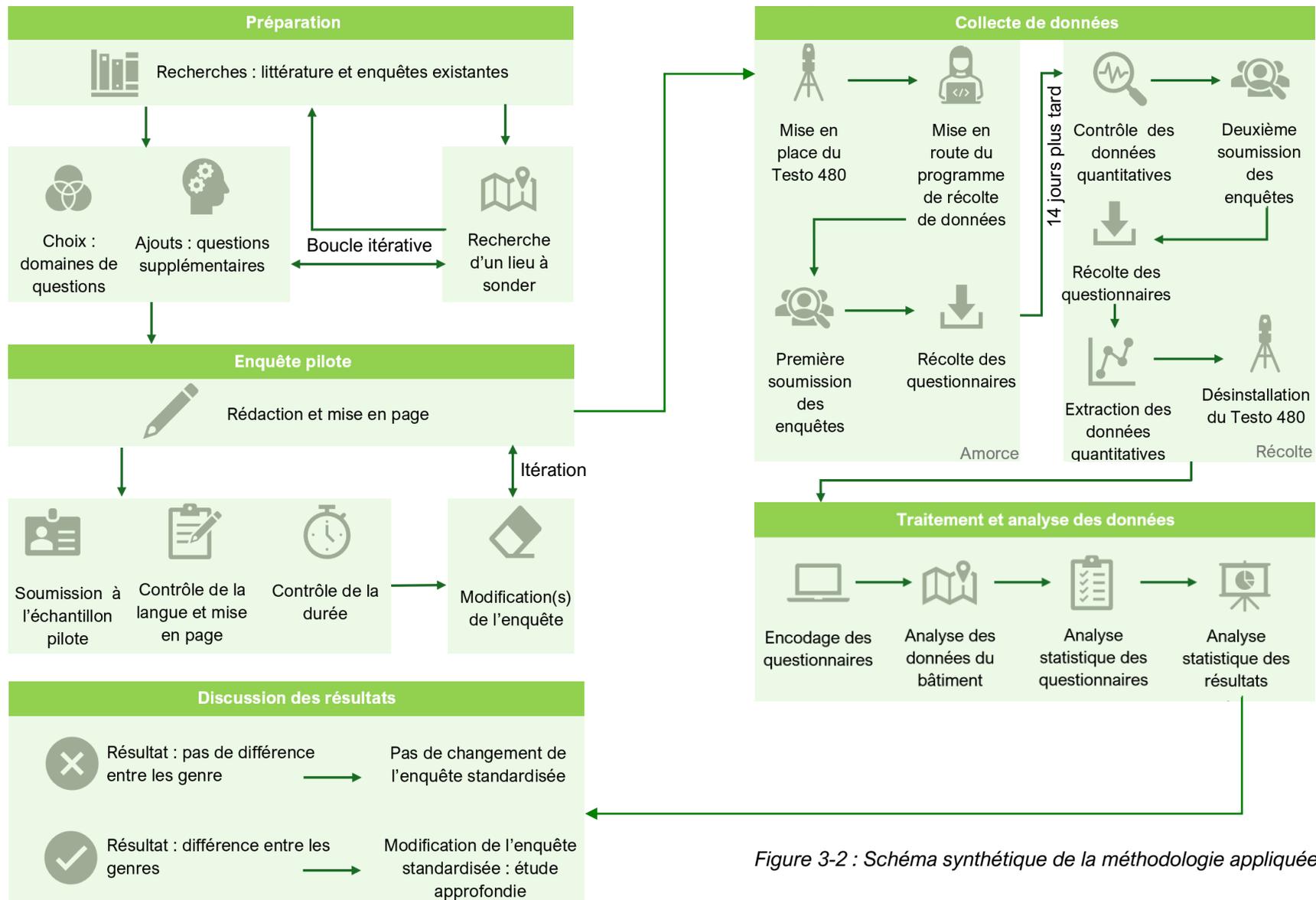


Figure 3-2 : Schéma synthétique de la méthodologie appliquée

### 3.4 Opérationnalisation : variables et indicateurs

Le confort thermique est un concept théorique dépendant de nombreux paramètres. Le chapitre 2 reprend le contexte scientifique déjà connu sur le sujet. Les variables dont il dépend peuvent s'avérer difficilement mesurables. Cependant, grâce aux questionnaires récoltés et aux sondes placées in situ, les six paramètres principaux du confort thermique décrits par ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) et repris dans les six premières cases du Tableau 3-1, sont mesurés. Il s'agit des données primaires de l'étude. D'autres données considérées comme secondaires sont récoltées par le biais du questionnaire et se regroupent en domaine commun (cf. le Tableau 3-2).

Le Testo 480 est l'appareil de mesure qui relié à diverses sondes récolte les données relatives à la température de l'air, la température opérative, l'humidité relative et la vitesse de l'air de l'open-space. Il est illustré sur la Figure 3-3. Il est connecté à trois sondes aux rôles spécifiques. Le thermomètre à globe permet la mesure de la température opérative dans un intervalle de 0 à 120 °C. Son diamètre est de 15 cm et possède une classe de précision 1 ce qui correspond aux températures comprises entre -40 °C et 1000 °C pour un thermocouple de type K (EN 60584-1, 2013). La sonde de la qualité de l'air permet la mesure de l'humidité relative dans un intervalle de 0 à 100 %HR avec un degré de précision d'environ 1,8 %HR. Elle permet aussi la mesure de la température de l'air ambiant dans un intervalle de 0 à 50 °C avec un degré de précision d'environ 0,5 °C. Enfin, la sonde de bien-être permet la mesure de la vitesse de l'air dans un intervalle de 0 à 5 m/s avec un degré de précision d'environ 0,03 m/s.

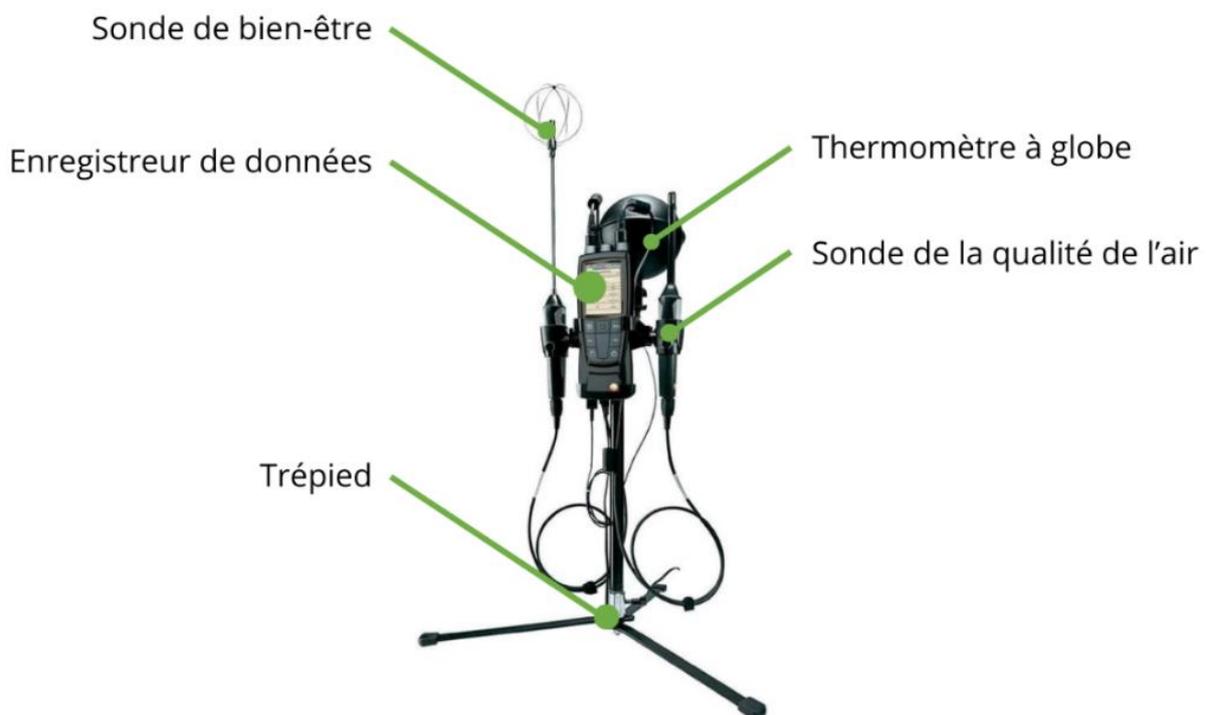


Figure 3-3 : Illustration de la sonde utilisée

Le Testo 480 possède une batterie intégrée offrant une autonomie d'environ 17 h et une mémoire permettant la récolte d'environ 60 000 000 de valeurs de mesure. L'appareil a été calibré au sein de l'entreprise Testo de Belgique durant l'été 2023 sous le suivi de l'équipe de recherche du laboratoire Sustainable Building Design (SBD). Le Testo 480 n'est pas la version la plus récente d'outil pour les mesures des composantes du confort thermique. Le Testo 400 propose les mêmes outils que ceux utilisés ici avec des fonctionnalités complémentaires comme des assistants de mesures intuitifs, des sondes connectables par connexion sans fil, un écran tactile, etc. (*Testo 400 Kit de confort thermique avec trépied*, 2024) Cependant, les mesures n'en restent pas moins précises et fiables grâce à la calibration annuelle de l'appareil utilisé. Il respecte également les normes toujours en vigueur ((ISO 7243, 2017 ; ISO 7730, 2005 ; NBN EN 12599, 2012 ; NBN EN 13779, 2007).

Le Tableau 3-1 présente les variables mesurées in situ ou évaluées après la récolte des données. Les données primaires du confort thermique sont récoltées au travers des six variables suivantes : la température ambiante de l'air, la température opérative in situ, la vitesse de l'air, l'humidité relative de l'air, l'activité métabolique, l'habillement. Les données secondaires sont récoltées par le biais du questionnaire et regroupées dans différents domaines de questions présentés dans le Tableau 3-2. On cite deux variables du confort thermique dans la catégorie des questions liées aux sensations thermiques : la satisfaction du confort et de la sensation thermiques. La satisfaction de la température de l'air est également évaluée.

*Tableau 3-1 : Synthèse de l'opérationnalisation des variables de la recherche*

Variable	Définition	Indicateur(s)	Source(s) des données
Température ambiante de l'air	Valeur définissant le degré de chaleur de l'air ambiant à l'endroit de placement de la sonde	En degrés Celsius (°C)	L'appareil de mesure sondant le site : la sonde de la qualité de l'air
Température opérative in situ	Valeur définissant le degré de chaleur de l'air en considérant les échanges par rayonnement et par convection	En degrés Celsius (°C)	L'appareil de mesure sondant le site : thermomètre à globe
Vitesse de l'air	Valeur définissant le déplacement de l'air à l'endroit de placement de la sonde (en mètre) parcouru par rapport à un temps de parcours (1 seconde)	En mètre(s) par seconde (m/s)	L'appareil de mesure sondant le site : la sonde de bien être

<b>Humidité relative</b>	Valeur définissant le taux de vapeur d'eau contenu dans l'air à l'endroit de placement de la sonde par rapport à sa capacité maximale	En pourcentage (%)	L'appareil de mesure sondant le site : la sonde de la qualité de l'air
<b>Activité métabolique</b>	Valeur propre au métabolisme définissant un niveau de dépense énergétique pour atteindre un équilibre de température selon une activité métabolique	En valeur du métabolisme ( <b>met</b> )	Le questionnaire : la grille descriptive de différents niveaux d'activité
<b>Habillement</b>	Valeur représentative de la capacité d'isolement à l'air ambiant de la tenue du répondant	En valeur relative ( <b>clo</b> )	Le questionnaire : la grille descriptive d'habits à cocher
<b>Satisfaction du confort thermique</b>	Expression du niveau de confort du répondant vis-à-vis de son environnement thermique au regard de sa propre température interne	En niveau de confort ( <b>de très confortable à très inconfortable</b> )	Le questionnaire : une échelle de Likert à 7 niveaux
<b>Satisfaction de la sensation thermique</b>	Expression de la sensation thermique ressentie par le répondant in situ	En sensation thermique ( <b>de chaud à froid</b> )	Le questionnaire : une échelle de Likert à 7 niveaux
<b>Genre</b>	Catégorie propre au sentiment d'appartenance à l'un des deux sexes biologiques	Variable dichotomique : <b>homme ou femme</b>	Le questionnaire : case à cocher

Le Tableau 3-2 ci-dessous synthétise les domaines de questions soumises aux répondants. Comme expliqué précédemment, les enquêtes de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) ont été utilisées comme base. Les 11 questions concernées sont mises en évidence en gras dans le Tableau 3-2. L'enquête soumise dans l'entreprise est disposée à l'Annexe 2.

*Tableau 3-2 : Domaines de questions de l'enquête testée*

<b>Questions liées aux caractéristiques démographiques</b>	
Q2 : Sexe	
Q3 : Âge	
Q16 : Fonction au sein de l'entreprise	
<b>Questions liées au métabolisme</b>	
Q4 : Taille	Q7&8 : Activité sportive
Q5 : Poids	Q14 : Digestion
Q6 : Fumeur	Q9 : État de santé
Q10,11,12&13 : Sommeil	Q30 : Niveau d'éveil
Q29 : Niveau de concentration	Q45&47 : Menstruations
Q43&44 : Grossesse	Q48&Q49 : Périménopause et ménopause
Q46 : Contraceptions	<b>Q25 : Habillement</b>
Q28 : Niveau de bien-être	<b>Q27 : Niveau d'activité</b>
<b>Questions liées à l'emplacement</b>	
Q15 : Ancienneté dans les locaux	<b>Q21,22,23&amp;24 : Placement (orientation, niveau, fenêtre ou mur extérieur proches)</b>
Q17 : Temps d'occupation des locaux	<b>Q31 : Contrôle sur l'environnement thermique</b>
<b>Questions liées aux sensations thermiques</b>	
Q18 : Estimation température extérieure	<b>Q19 : Sensation thermique</b>
Q38 : Impact du genre	<b>Q32 : Satisfaction thermique</b>
Q39 : Sensibilité thermique	<b>Q20 : Confort thermique</b>
Q40&Q41 : Tolérance d'inconfort	<b>Q33 : Origine d'inconfort</b>
<b>Affirmations</b>	
Q34 : Productivité	
Q35 : Impact social du groupe	
Q36&37 : Impact du genre	

Les questions posées sur l'état de santé et le sommeil du répondant sont inspirées de la méthodologie présentée dans l'article scientifique de Bajc & Milanović (2019). La prise en compte d'une activité sportive peu de temps avant l'enquête est inspirée de l'article scientifique de Du et al. (2023). Celle-ci permet d'estimer si le taux métabolique est stable. La question posée quant à la fréquence à laquelle le répondant s'est exercé physiquement durant la semaine précédant l'enquête, ainsi que la prise en compte du niveau d'éveil et de bien-être du répondant est inspirée de l'article scientifique de Seyedrezaei et al. (2023). Le travail présenté dans l'article scientifique de Hu et al. (2022), mentionne également l'état de concentration, d'éveil et le niveau de productivité.

### 3.5 Le cas d'étude

#### 3.5.1 L'orientation et les parois

L'open-space est distribué entre deux structures différentes. En 2008, le projet d'extension du bureau d'études a permis d'apporter 70 postes de travail supplémentaires à l'open-space existant. Il compte aujourd'hui 166 postes de travail. Le bâtiment datant d'avant l'extension est composé de parois lourdes en béton. L'extension quant à elle est constituée d'une structure légère en acier. Un atrium vitré sépare les deux zones. Cinq passerelles bordées de garde-corps en verre permettent le passage entre les plateaux de l'étage disposés de part et d'autre de l'atrium. (Greisch sa, 2009) Les différentes parties du bâtiment sont mises en évidence sur la Figure 3-4 qui suit. Une des particularités de ce lieu est l'absence de division du volume partagé. Les 166 employés sont physiquement présents dans le même espace qui est un volume de deux niveaux complètement ouvert par le biais des mezzanines.

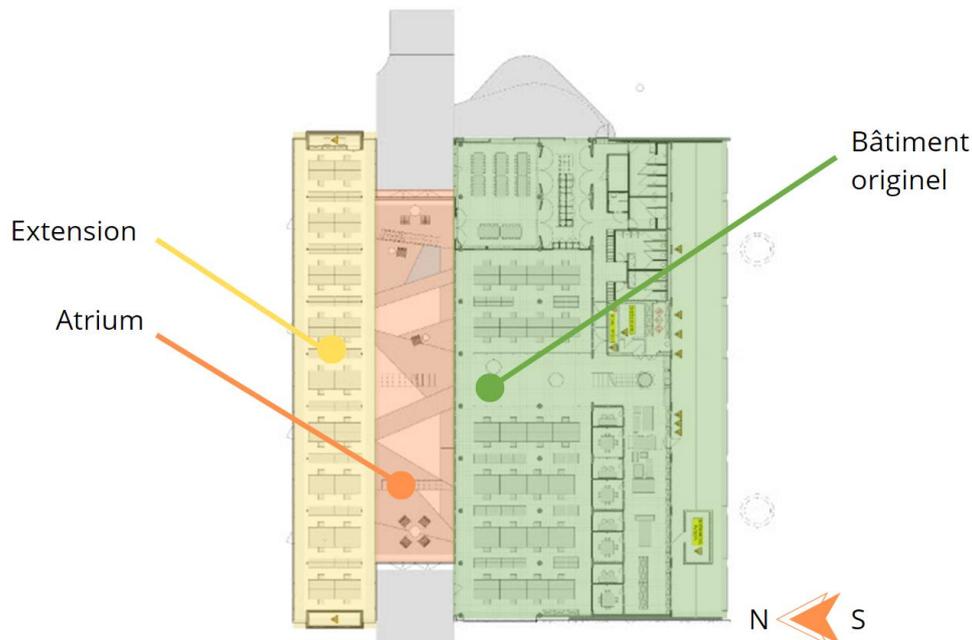


Figure 3-4 : Plan du sous-sol des zones du bâtiment étudié

Des illustrations sont présentées à l'Annexe 3. On peut y voir l'atrium et la structure légère de l'extension à la Figure A.3 - 5. L'extension est orientée au nord tandis que la partie ancienne est enclavée dans le terrain au sud. La Figure 3-5 illustre les répartitions des répondants dans les zones de l'étage considéré définies selon les points cardinaux.

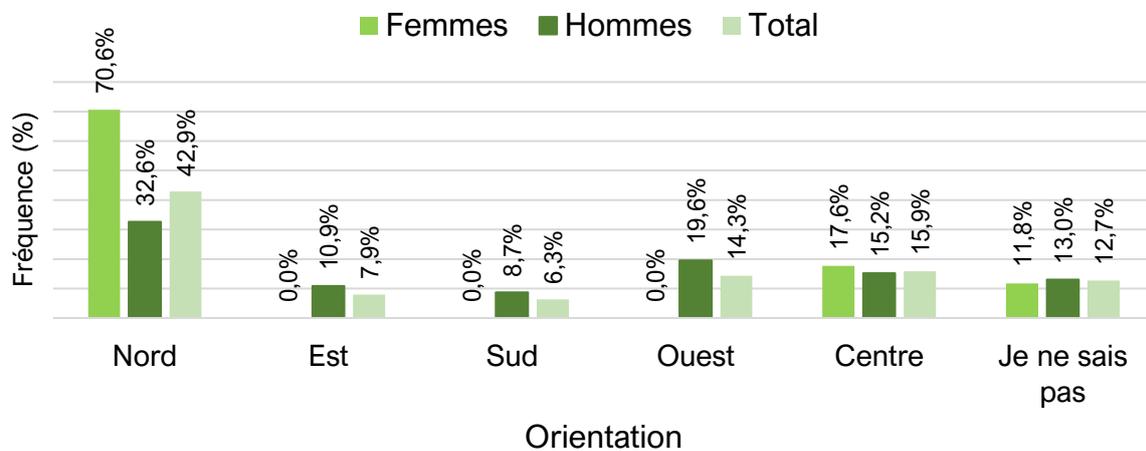


Figure 3-5 : Histogramme de répartition des répondants selon la zone du bâtiment et le genre

La majorité des femmes et des hommes sont situés dans la partie nord soit l'extension du bâtiment. C'est aussi dans cette partie qu'a été placé le Testo 480 (cf. Figure 3-9). Pour les femmes, les zones exprimées sont uniquement le nord et le centre. Pour les hommes, ils se répartissent dans chaque zone : nord, est, sud, ouest, centre. Au total, 12,7 % des répondants n'ont pas pu définir dans quelle zone ils se situaient.

### 3.5.2 Le système HVAC en place

Afin d'approfondir les informations recueillies quant au système de chauffage, de ventilation et de climatisation de l'open-space étudié, un entretien avec M. Guy Lardinois a été réalisé. Il s'agit de l'ingénieur expert HVAC ayant contribué à l'étude de la mise en place du système actuel. Cet entretien permet de présenter brièvement les techniques mises en place. Elles ne seront pas présentées en détail puisqu'il ne s'agit pas ici d'analyser en profondeur le système au regard des données récoltées. Cependant, elles permettent tout de même de discuter de l'impact qu'elles peuvent avoir sur le confort thermique. Cette analyse est présentée au chapitre 6.

Le système de chauffage est différent entre la partie la plus ancienne et l'extension, mais il est alimenté par la même chaudière gaz à condensation. L'extension est chauffée grâce à des convecteurs encastrés dans le sol. La partie la plus ancienne fonctionne en régime à basses températures tandis que l'extension est alimentée par un régime d'eau à hautes températures. (Greisch sa, 2009)

La ventilation de l'extension se fait via un groupe double flux récupérateur d'énergie. L'atrium bénéficie d'ouvertures en son sommet qui, combinées à des ventilateurs, permettent d'introduire de l'air extérieur si nécessaire afin de refroidir par

le biais d'une ventilation naturelle l'espace. Ce système est entre autres exploité les nuits d'épisodes caniculaires. (Greisch sa, 2009)

L'atrium possède également des gaines perforées permettant la ventilation par air pulsé de l'espace tampon. La technologie utilisée est celle brevetée Mix-Ind Sintra (SINTRA Srl, s. d.). Ce système n'est pas le plus courant puisqu'il se base sur un régime non établi. Les jets d'air pulsé sont directionnellement instables et présentent des intensités dites « chaotiques ». L'objectif est de créer un système transitoire permanent. Il introduit alors plus de mouvement dans la masse d'air de l'atrium qu'un régime établi puisque les jets instables produits de manière incessante forcent en permanence le mouvement de poches d'air environnantes en toutes directions et avec différentes intensités. Ce système permet d'apporter une plus grande portée aux jets d'air qu'un système plus traditionnel fonctionnant en régime établi. La zone d'influence de la ventilation se voit optimisée. Le système permet aussi une meilleure homogénéisation du volume d'air et donc de la température de l'espace ce qui évite d'avoir des phénomènes d'effet cheminée pouvant causer de l'inconfort pour les personnes proches de l'atrium. La température homogène garantit également un risque amoindri d'infiltrations d'air frais pouvant créer une ascension de l'air chaud et donc potentiellement des courants d'air inconfortables. (Lardinois, 2024)

Le système de refroidissement de l'open-space est assuré par des plafonds froids disposés aussi bien dans l'ancienne partie du bâtiment que dans l'extension. Ceux-ci fonctionnent grâce à une alimentation en eau glacée produite par un groupe frigorifique externe. (Greisch sa, 2009)

### 3.6 Préparation

Cette phase s'articule autour d'étapes importantes pour la qualité de la suite du travail de recherche. Elle fait guise d'introduction à la mise en pratique de l'enquête en mettant au clair le contexte dans lequel elle s'inscrit. Les étapes présentées sur la Figure 3-6, décrivent la phase de préparation. Les étapes peuvent être concrétisées en parallèle les unes des autres avec des boucles itératives visibles sur la Figure 3-2 synthétique.

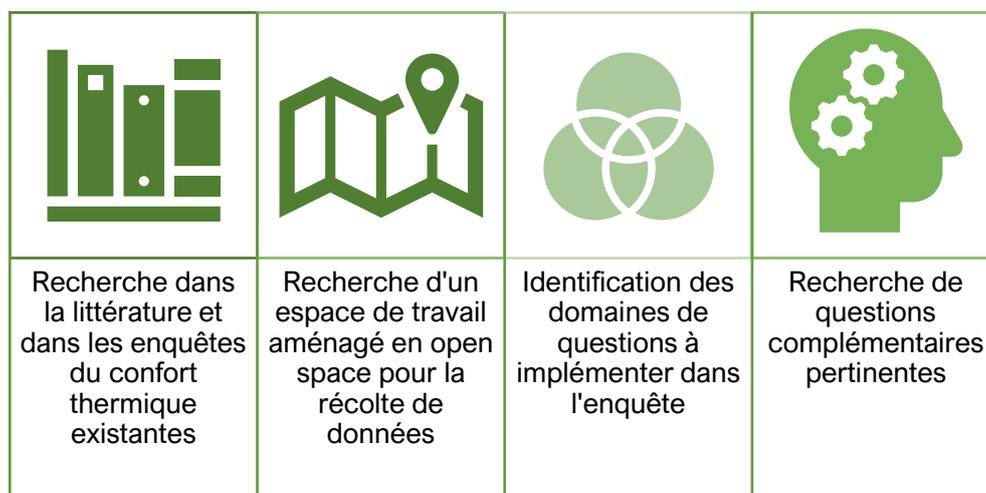


Figure 3-6 : Schéma synthétique de la phase de préparation

Tout d'abord, on étudie le contexte existant des enquêtes de confort thermique dans la littérature scientifique afin d'identifier les manquements potentiels des enquêtes standardisées. Ensuite, sur base de ces recherches, la construction du questionnaire passe par l'analyse et le regroupement des domaines de questions que l'on souhaite aborder en cherchant à compléter avec pertinence les enquêtes prises comme référence(s). Dans le cadre de cette recherche, les enquêtes du confort thermique présentées dans l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) ont été retenues comme référence. Il s'agit des enquêtes de satisfaction générale au sein des lieux et de satisfaction au moment de compléter le formulaire. Ils sont traduits sans apport de modification des questions et complétés par les questions inhérentes au chercheur. Le Tableau 3-2 reprend les thèmes abordés dans les questions de cette norme.

En parallèle de la construction du questionnaire, le lieu qui servira à la recherche doit être sélectionné pour ses critères. Il doit correspondre aux caractéristiques de l'enquête qui va être testée. Cependant, la rédaction de l'enquête est également dépendante du lieu sélectionné. Il s'agit de la boucle itérative faisant le lien entre les recherches scientifiques et la construction du questionnaire. Dans le cadre de cette recherche, un seul lieu a servi à la récolte de données. Il s'agit des bureaux d'ingénierie et d'architecture de l'entreprise privée Greisch présentée précédemment à la section 3.5. Il a été sélectionné pour son nombre généreux de postes de travail afin d'optimiser la taille de l'échantillon. La collecte de données au sein du bureau est détaillée au point 3.8.

### **3.7 Enquête pilote**

À la suite de la préparation vient la phase de l'enquête pilote. Elle est structurée par 5 étapes présentées sur la Figure 3-7. À titre informatif, l'enquête pilote est reprise dans l'Annexe 4. Sur base des travaux effectués à la phase de Préparation, la rédaction du questionnaire entame la phase de l'enquête pilote. Une fois celle-ci terminée, l'enquête est testée sur un groupe de répondants consentant via un format papier A4 recto verso. Il permet d'apporter un regard critique sur le fond et la forme du questionnaire. On entend par là des retours qualitatifs sur la mise en page et la formulation linguistique des questions. L'échantillon pilote permet aussi le contrôle de la durée moyenne nécessaire pour compléter l'ensemble du questionnaire.

Grâce aux divers retours qualitatifs des premiers répondants, les modifications pertinentes sont réalisées par le chercheur. Le questionnaire est raccourci ou non selon la durée moyenne résultante du groupe. Dans notre cas, la durée de l'enquête moyenne était acceptable par rapport à la durée maximale visée de 20 minutes.

Des modifications quant à la manière de formuler certains sujets ou sur la mise en page des réponses (par exemple pour la question 23 : habits à cocher) ont été proposées et prises en compte par la chercheuse. Le taux de réponse de chaque question est également pris en compte. Des questions avec plus de 5 % de réponses manquantes sont à supprimer ou à modifier (Attia et al., 2019). Les répondants de cet échantillon ont complété toutes les questions, aucune n'a donc été retirée.

Un des conseils majeurs réalisé dans la modification du document fut l'externalisation de la page des questions dédiées aux femmes dans le but de minimiser la prise de position des hommes sur des sujets qui ne les concernent pas

directement et de protéger les répondantes du caractère intime que peuvent prendre ces thématiques pour certaines femmes. Cette décision est explicitée plus longuement dans la partie 3.12.

Le groupe de répondants doit être consentant à la participation active de la recherche et doit l'acter sur la fiche de consentement transmise (cf. 3.8.2). Il est sélectionné pour ses qualités critiques et ses expertises diversifiées. Dans notre cas, il est composé de deux psychologues, deux pharmaciens, sept étudiants ou diplômés d'études scientifiques ainsi qu'une professeur dans le primaire. Douze personnes ont donc contribué aux étapes de contrôle du questionnaire. Afin d'avoir un retour complet de femmes sur les questions qui leur sont attribuées, l'échantillon se veut au minimum composé de 50 % de femmes. Ici, 8 femmes sur 12 répondants ont contribué au contrôle de l'enquête.

Pour cette récolte de données, les répondants ne doivent pas se trouver nécessairement dans le même environnement thermique au même moment. Les données récoltées sont les retours critiques sur la forme et le fond de l'enquête ainsi que les temps respectifs pour la compléter. On ne traite pas les données du confort thermique lors de cette collecte.

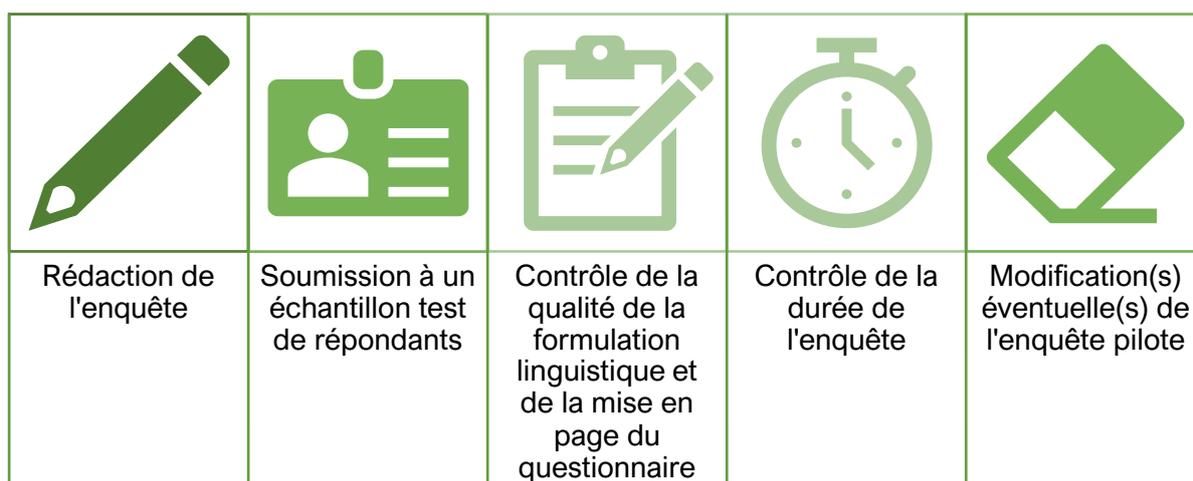


Figure 3-7 : Schéma synthétique de la phase de l'enquête pilote

## 3.8 Collecte de données

La collecte de données est détaillée dans les sections qui suivent au travers du cadre légal d'application puis des phases d'amorce et de clôture de la récolte de données.

### 3.8.1 Cadre légal

Le règlement général sur la protection des données (RGPD) est d'application au regard des données personnelles récoltées par le biais des questionnaires. Les données strictement nécessaires à la réalisation de l'objectif de la recherche ont été récoltées dans le but de minimiser les données à traiter. La réutilisation des données ultérieure n'est pas envisagée. Si les données étaient amenées à être réutilisées, elles

ne pourront l'être qu'à l'unique condition de respecter l'objectif premier de la recherche. Les répondants sont informés avant le lancement de la récolte de leurs données par le biais de la fiche descriptive et de la fiche du consentement éclairé de participation à la recherche (cf. Annexe 5) de l'utilisation prévue pour les données et des droits qui leur reviennent. Certaines modalités relatives aux droits des répondants sont mises en place et explicitées dans le document Data management plan (DMP) présenté à l'Annexe 6 (droits de suppression des données, de rectification des données fournies, d'accès, de consultation, etc.).

Le RGPD est également d'application dans la phase de traitement des données et fournit des indications pour les modalités de stockage des données récoltées. Les données sont anonymisées lorsque les enquêtes sont encodées en format Excel. La chercheuse est responsable de l'encodage consciencieux des réponses des participants et s'engage à effectuer une vérification rigoureuse de l'encodage. L'identité des répondants est anonymisée en ne précisant ni son nom ni son prénom. Les valeurs propres aux réponses sont considérées comme un ensemble de données à traiter. Une fois encodé, le traitement des données implique une vision du groupe de répondants et non de l'individu. Les résultats des données traitées communiquent des faits établis sur le groupe de participants et jamais des faits isolés propres à un individu. Les données traitées sont également minimisées après le tri qui suit la collecte des données, en fonction du taux de réponse à chaque question et de la pertinence des réponses aux questions. Seules les données valides nécessaires à la recherche sont traitées. Des informations complémentaires à cette section sont disponibles à l'Annexe 6.

### 3.8.2 Consentement éclairé

Avant la collecte des données, un formulaire contenant une description de la recherche, indiquant pourquoi et comment les données sont collectées, a été distribué à un certain nombre de personnes. Il est à noter que le formulaire de consentement doit aussi être distribué lors de la phase de l'enquête pilote. Ce formulaire contient deux pages consacrées au recueil du consentement éclairé des participants. Une page est collectée par le chercheur, l'autre est conservée par la personne interrogée. Le consentement éclairé à participer à la recherche mentionne explicitement le droit de se retirer de la recherche à tout moment, le droit de contacter le chercheur à tout moment pour obtenir de plus amples informations, et le fait que les données seront traitées après avoir été rendues anonymes. Le formulaire de consentement qui a été distribué aux participants est disposé à l'Annexe 5.

### 3.8.3 Amorce de la récolte de données

L'amorce de la récolte de données entame la mise en pratique des applications quantitatives et qualitatives de la méthodologie. Comme présenté sur la Figure 3-8, elle débute par la mise en place du Testo 480 sur le site. Une fois installé, le Testo 480 est programmé pour mesurer automatiquement les paramètres hygrothermiques in situ selon un intervalle temporel de 30 minutes. Au minimum 30 minutes après le lancement de la sonde (Hu et al., 2022 ; Maykot et al., 2018), soit la période

d'acclimatation des sondes, les questionnaires sont distribués en version papier à un maximum de répondants consentant. Une fois complétés, les questionnaires de la première récolte de données qualitatives sont regroupés. Le Testo 480 est laissé en fonctionnement sur le site jusqu'à la clôture de la récolte des données.

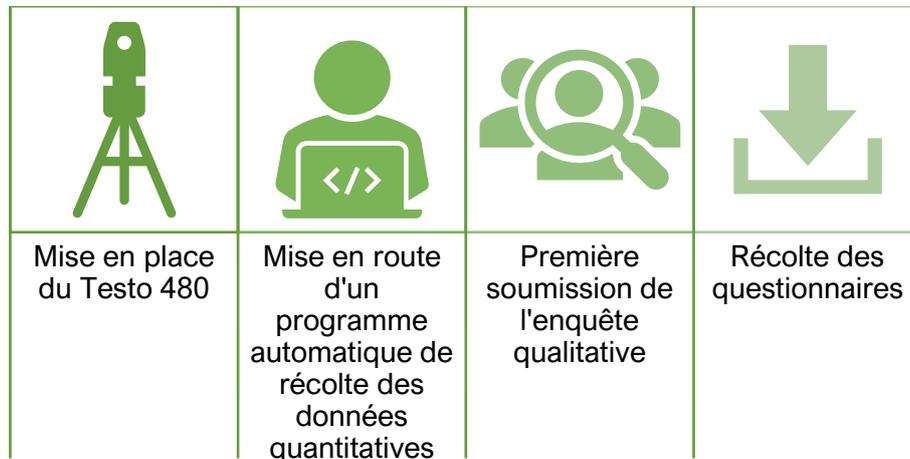


Figure 3-8 : Schéma synthétique de la phase d'amorce de la récolte de données

La Figure 3-9 qui suit illustre sur le plan du sous-sol le périmètre limite de placement des répondants pour cette étude. La distribution des questionnaires s'est faite dans cette zone afin de garder une cohérence entre les données qualitatives et quantitatives récoltées vis-à-vis de la distance du répondant à la sonde.

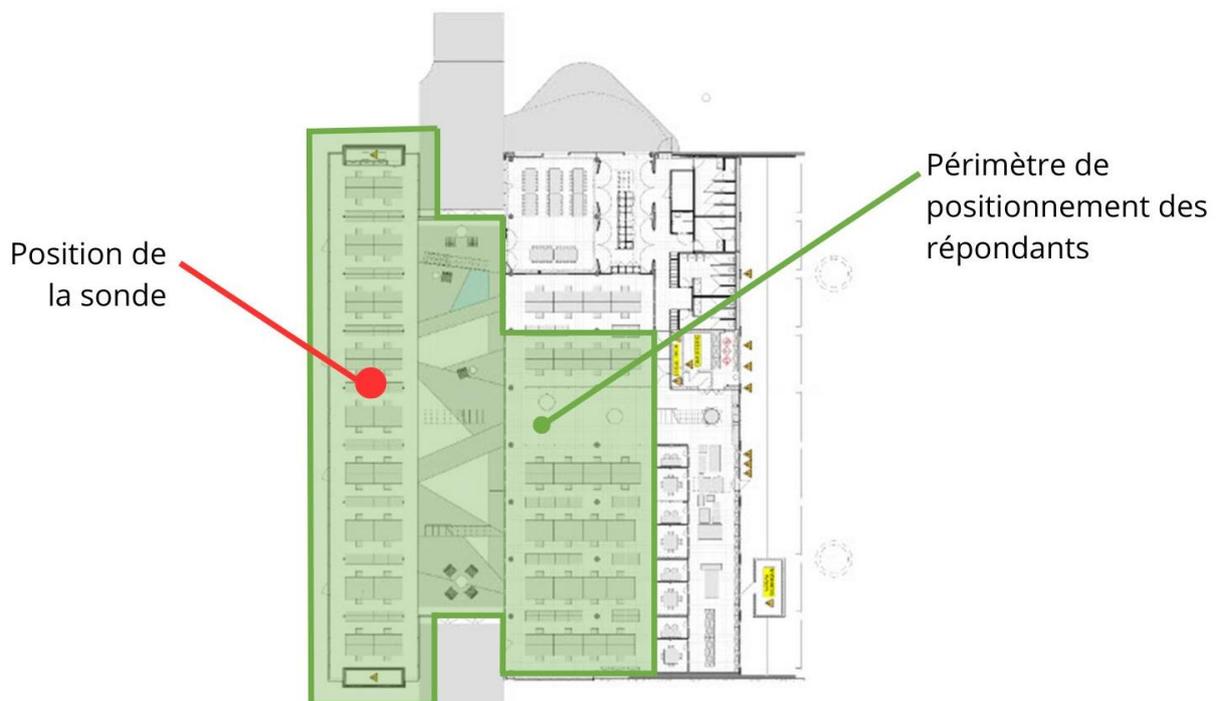


Figure 3-9 : Disposition du Testo 480 et périmètre de position des répondants

Afin d'optimiser la taille de l'échantillon et ainsi garantir un niveau de confiance suffisant dans les résultats statistiques, la récolte de données se fait dans un open-space comprenant au minimum 30 répondants potentiels dont au minimum 25 % de

femmes répondantes potentielles. Ces conditions doivent être vérifiées lors de la phase de Préparation. Lors de la première soumission du questionnaire, 40 versions ont été récupérées : 12 au moyen d'un QR code (cf. section 3.11) et 28 en version papier. La deuxième soumission a regroupé 31 questionnaires en version papier. Le choix des répondants s'est fait en maximisant le nombre de femmes consentantes à la recherche étant donné que l'entreprise ne compte qu'environ 25 % de femmes. L'échantillon est sélectionné sur le même niveau (soit le sous-sol aussi considéré comme rez-de-jardin) que le placement du Testo 480 sans imposer d'autres conditions à leur participation. Les plans du bâtiment sont disposés à l'Annexe 3. Au final, 63 questionnaires sont admissibles à l'analyse statistique parmi lesquels 27 % des répondants à l'enquête sont des femmes.

Une durée idéalement proche de deux semaines (Attia et al., 2019) doit séparer les deux soumissions de l'enquête. Dans notre cas, 14 jours ont séparé les deux récoltes de données. Ceci permet d'une part d'évaluer le confort thermique sous des conditions relativement similaires, et d'autre part de tester la fiabilité des réponses pour ceux qui ont participé aux deux soumissions. En effet, grâce à cette période temporelle, les répondants sont plus susceptibles de ne pas se rappeler exactement de leurs réponses à la première enquête. Le test de fiabilité se fait sur les questions générales, détachées du moment précis de la récolte de données. Pour l'enquête testée, cela correspond aux questions 31 et suivantes (cf. Annexe 2). L'échantillon de répondants doit être sélectionné également en maximisant le nombre de personnes qui pourront être présentes lors des deux soumissions.

Avant de soumettre le questionnaire, le Testo 480 doit être installé précautionneusement le plus au centre possible de l'open-space sans occasionner de gêne pour les personnes placées à proximité et le personnel d'entretien des lieux. Une prise électrique doit également se trouver à proximité. La Figure 3-10 est une photographie prise in situ après l'installation de l'appareil. Un certain délai de 30 minutes pris comme référence dans diverses études (Hu et al., 2022 ; Maykot et al., 2018) est nécessaire entre le lancement du programme de récolte de données automatique de la sonde et le début de la distribution des enquêtes. Celui-ci assure la qualité des données quantitatives récoltées (cf. partie 3.11).

Le placement de l'appareil doit préférablement se situer à 1 m du centre de la pièce ou à 1 m de centre de la fenêtre la plus large vers l'extérieur, s'il y en a une, selon ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Selon (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020), le thermomètre à globe doit également être placé à 60 cm du sol pour des répondants assis. Pour ce site, il n'était pas possible de suivre cette recommandation sans gêner les personnes occupant le lieu quotidiennement. Par conséquent il a été placé à une hauteur d'environ 160 cm.



Figure 3-10 : Testo 480 placé dans l'open-space étudié

### 3.8.4 Clôture de la récolte de données

Lors du deuxième passage sur le site, on commence par contrôler les données quantitatives déjà récoltées en vue de s'assurer du bon fonctionnement du programme automatisé. Le questionnaire est soumis ensuite pour la deuxième fois aux répondants consentant avec les mêmes modalités que le premier passage. Une fois ceux-ci récoltés, les données quantitatives issues du programme automatique de récolte sont extraites du Testo 480 afin d'entamer le processus de désinstallation de l'appareil. Ceci clôture la récolte de données in situ. Cette étape de la recherche est illustrée au travers de la Figure 3-11 qui suit.



Figure 3-11 : Schéma synthétique de la phase de clôture de la récolte de données

### 3.9 Traitement et analyse des données

Le traitement et l'analyse des données structurent anticipativement la discussion des résultats du chapitre 6 permettant de répondre aux questions énoncées au point 1.4. Elle se divise en 4 grandes étapes présentées sur la Figure 3-12 ci-dessous.

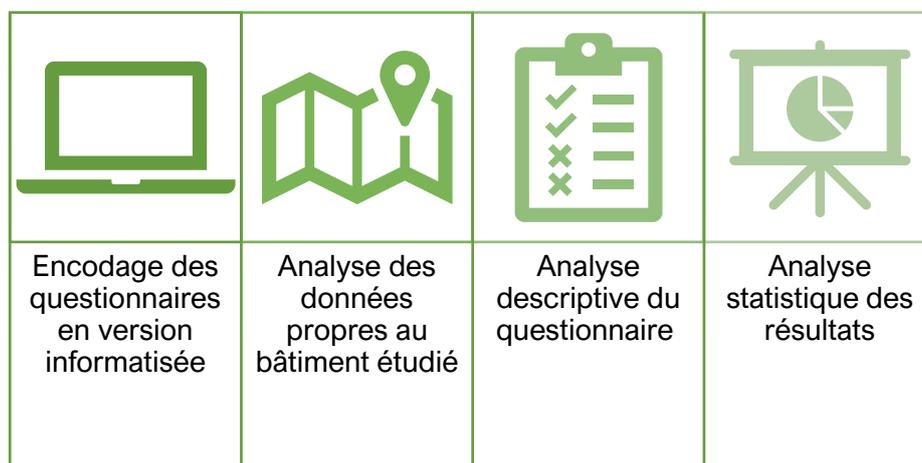


Figure 3-12 : Schéma synthétique de la phase de traitement et analyse des données

En premier lieu, les questionnaires récoltés en version papier doivent être retranscrits sous un format de fichier Excel afin de permettre le traitement numérique statistique des données. Cette étape permet le tri des dossiers potentiellement non recevables. Le questionnaire d'un éventuel répondant qui ne serait pas placé sur le même étage que le Testo 480 est irrecevable. Un questionnaire illisible ou présentant un taux d'absence de réponses trop élevé, soit supérieur à 5 %, est également irrecevable (Attia et al., 2019).

Ensuite, les données découlant de la localisation du bâtiment choisi au point 3.4 sont analysées. Cette analyse répond à la sous-question de recherche suivante « 1 : Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ? ». On y observe les courbes de la température de l'air, de la température opérative, de la vitesse de l'air et du taux d'humidité relative de l'air. Elles sont présentées au chapitre 0. Ces données récoltées permettent l'application du modèle de Fanger présenté dans le chapitre 2 (cf. 2.1.3). En effet, la connaissance des valeurs exactes des données précitées selon la date et le jour renseignés par les répondants au moment de la réalisation de l'enquête permet le calcul du PMV et du PPD de chaque répondant. L'habillement et le niveau d'activité sont nécessaires également aux calculs du PMV et du PPD. Ils sont déterminés grâce aux questions 25 et 27 du questionnaire.

Les réponses aux questions de l'enquête n'ont pas toutes été finalement exploitées. Divers motifs en sont l'explication comme une mauvaise formulation biaisant l'analyse des réponses ou un manque de données lié à la petite taille de l'échantillon des femmes. Ces questions sont présentées selon leur motif d'exclusion dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Questions inexploitées classées par motif

Questions inexploitées : manque de données
<p>Q33 : Si vous n'êtes pas satisfait de la température dans votre espace, lesquels des éléments suivants contribuent à votre insatisfaction ?</p> <p>a) Par temps chaud, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :</p> <p>b) Par temps frais/froid, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :</p> <p>c) Quand cela pose-t-il souvent un problème ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent) :</p> <p>d) Comment décririez-vous au mieux l'origine de cet inconfort ?</p>
Q43 : Êtes-vous enceinte ?
<p>Q44 : Si vous avez répondu oui à la question 43, Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre grossesse ? Si oui, sous quelle forme cela se manifeste ?</p>
<p>Q46 : Si vous avez répondu « <i>Je suis sous contraceptif hormonal et ne possède pas de cycle féminin</i> » à la question 45 : Sous quelle contraception êtes-vous ? Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre contraception ? Si oui, sous quelle forme cela se manifeste ?</p>
Q47 : Si vous avez répondu oui à la question 45, à quel moment du cycle cela se manifeste ?
Q48 : Si vous êtes en période de péri-ménopause ou ménopausée, avez-vous observé un impact sur vos sensations thermiques ?
Q49 : Si vous avez répondu oui à la question 48, sous quelle forme cela se manifeste ?
Questions inexploitées : hors sujet
Q15 : Depuis quand travaillez-vous dans cet espace ? Mettez une estimation la plus précise possible.
Q16 : Quelle est votre fonction au sein de l'entreprise ?
Q18 : Notez la température extérieure approximative et les conditions saisonnières
Q31 : Parmi les éléments suivants, quels sont ceux que vous réglez ou contrôlez personnellement dans votre espace ?
Questions inexploitées : mauvaise formulation
Q26 : Adaptez-vous votre habillement en période hivernale selon les conditions liées à votre environnement de travail ?
Q38 : Avez-vous déjà remarqué une différence majeure du confort thermique entre les genres au sein de votre espace de travail ?
Q39 : Êtes-vous sensible à votre environnement thermique ?
Q40 : Avez-vous déjà toléré votre inconfort thermique au profit du confort d'une partie du groupe occupant le même espace ?
Q41 : Si vous avez répondu oui à la question 40, pour quelle(s) raison(s) ?

Les questions exploitées sont analysées au travers de la théorie des statistiques descriptives afin d'apporter les éléments nécessaires à la discussion des sous-questions de recherche suivantes : « 2 : *Quels sont les profils d'usagers interrogés au sein du bâtiment ?* » et « 3 : *Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?* ». Les questions exploitées sont reprises avec leur utilité dans l'étude dans le Tableau 3-4. Les résultats sont présentés dans le chapitre 4.

*Tableau 3-4 : Tri des questions conservées pour l'analyse des données*

Questions exploitées dans les résultats	
Question posée	Utilité de la question
Q1 : Indiquez l'heure et la date	Calcul du PMV et PPD : données temporelles
Q2 : Indiquez votre sexe	Variable de la recherche
Q3 : Quel âge avez-vous ?	Présentation des profils des répondants
Q4 : Quelle est votre taille ?	Présentation des profils des répondants
Q5 : Quel est votre poids ?	Présentation des profils des répondants
Q6 : Êtes-vous fumeu.r.se réguli.er.ère ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q7 : Avez-vous pratiqué une activité sportive avant cette enquête ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q8 : Avez-vous pratiqué une activité sportive cette semaine ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q9 : Comment qualifieriez-vous votre état de santé actuellement ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q10 : Êtes-vous sujet à des troubles du sommeil ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q11 : Si vous avez répondu oui à la question 10, à quelle fréquence ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q12 : Combien d'heures avez-vous dormi la nuit passée ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q13 : À combien s'estime en moyenne votre nombre d'heures de sommeil en semaine par nuit ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q14 : Êtes-vous en phase de digestion ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
Q17 : Combien d'heures en moyenne par semaine occupez-vous cet espace ?	Présentation des profils des répondants et tri des dossiers admissibles à la recherche
Q19 : Quelle est votre sensation thermique générale ?	Variable de la recherche
Q20 : Quel est votre niveau de confort thermique actuellement ?	Variable de la recherche
Q21 : Soit (a) placer un "x" à l'endroit approprié où vous passez le plus clair de votre temps(b) cochez la case qui décrit le mieux la zone du bâtiment où vous vous trouvez actuellement	Présentation de caractéristiques de l'échantillon

<b>Q22</b> : À quel étage du bâtiment se trouve votre espace ?	Tri des dossiers admissibles à la recherche
<b>Q23</b> : Êtes-vous près d'un mur extérieur (à moins de 5 m) ?	Présentation des profils des répondants
<b>Q24</b> : Êtes-vous près d'une fenêtre (à moins de 5 m)	Présentation des profils des répondants
<b>Q25</b> : À l'aide de la liste ci-dessous, cochez chaque vêtement que vous portez en ce moment.	Variable de la recherche
<b>Q27</b> : Quel est votre niveau d'activité actuel ?	Variable de la recherche
<b>Q28</b> : Comment qualifieriez-vous votre humeur actuellement ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
<b>Q29</b> : Comment qualifieriez-vous votre état de concentration actuellement ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
<b>Q30</b> : Et votre niveau d'éveil ?	Présentation de caractéristiques de l'échantillon
<b>Q32</b> : Quel est votre degré de satisfaction concernant la température de votre espace ?	Variable de la recherche
<b>Q34</b> : Il semblerait que les conditions thermiques impactent la productivité.	Les affirmations
<b>Q35</b> : Il semblerait que l'opinion personnelle soit influencée par l'effet de groupe en termes de sensation thermique.	Les affirmations
<b>Q36</b> : Il semblerait que les femmes ont souvent davantage froid que les hommes.	Les affirmations
<b>Q37</b> : Il semblerait que les hommes ont souvent davantage chaud que les femmes.	Les affirmations

Le détail des formules et méthodes à appliquer est progressivement développé dans les paragraphes qui suivent. En premier lieu, l'IMC est calculé sur base de la formule suivante :  $IMC = \frac{Poids (kg)}{Taille^2 (m)}$ . La valeur obtenue est alors comparée à la table d'interprétation suivante (OMS, 2024) :

*Tableau 3-5 : Tableau d'interprétation de l'IMC*

Valeur IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Qualificatif
<b>Plus de 40</b>	Obésité morbide
<b>35 à 40</b>	Obésité sévère
<b>30 à 35</b>	Obésité modérée
<b>25 à 30</b>	Surpoids
<b>18,5 à 25</b>	Corpulence normale
<b>16,5 à 18,5</b>	Maigreur
<b>Moins de 16,5</b>	Famine

Ensuite, la question 25 de l'enquête (cf. Tableau 3-4) permet de calculer à l'aide de l'ISO 7730 (2005) la valeur précise de l'habillement de chaque répondant (cf. point 2.3.1.2). Le PMV est ensuite calculé pour tous les sujets grâce à l'outil développé par Tartarini et al. (2020). Il est obtenu sur base des critères de l'EN 16978-1 (2019). L'encodage des paramètres individuels et environnementaux (cf. point 2.1.1) mesurés à l'aide du Testo 480 renvoie la valeur précise du PMV et du PPD correspondant. La température opérative recueillie par la sonde nécessite un ajustement avant d'entamer l'utilisation de l'outil. L'encodage nécessite l'introduction de la température moyenne radiante (notée  $T_{mr}$ ) et non de la température opérative (notée  $T_{op}$ ). Une relation d'approximation permet de la déterminer. Sur base de la température opérative recueillie, on la mesure comme suit (André, 2023 ; Roulet, 2008) :

$$T_{op} = a.T_a + (1 - a).T_{mr} \Leftrightarrow T_{mr} = \frac{T_{op} - a.T_a}{(1 - a)}$$

$$\text{où } a = (0,5 + 0,25 . v)$$

et  $T_a$  = Température de l'air (°C),  $v$  = Vitesse de l'air (m/s)

Avant la mise en pratique de l'application rigoureuse des statistiques, il convient d'évaluer la **significativité** qu'a l'échantillon au vu de sa taille. Pour ce faire, la formule de Cochran est d'application. Celle-ci a comme variable un niveau de confiance (=x) souvent pris comme égale à 95 %. Il signifie la probabilité de tirer une conclusion qui s'avère être vraie dans la réalité quant à la distribution d'une population par rapport à un échantillon de la population qui est sujet à un test statistique. La deuxième variable de la formule de Cochran est la proportion estimée de la population sujette aux hypothèses du test statistique (=p). Elle est prise égale à 50 % lorsque l'on ne connaît pas sa valeur. Ici, on se base sur une étude réalisée en France pour l'année 2019 qui a estimé à 2 travailleurs sur 5 le nombre de personnes employées dans un open-space. (DO & Schneider, 2023). On prendra donc comme valeur 40 % de la population des salariés. Enfin, une marge d'erreur est choisie par le chercheur et est souvent prise égale à 5 % (=m). (Lafont, 2024) La formule est appliquée une première fois avec pour valeurs :

- $x = 1,96$  (valeur à appliquer si le niveau de confiance = 95 %) ;
- $p = 40 \%$  ;
- $m = 5 \%$ .

Le résultat est le suivant : *Formule de Cochran* =  $\frac{(x^2 \times p \times (1-p))}{m^2} = 369$ . Il signifie qu'il faudrait avoir un échantillon composé d'au moins 369 personnes pour qu'il soit statistiquement significatif selon le niveau de confiance choisi et la marge d'erreur tolérée. En choisissant maintenant ceux-ci respectivement égaux à 90 % et 10 % en gardant  $p=40\%$ , la formule donne :  $\frac{(x^2 \times p \times (1-p))}{m^2} = 66$ . L'échantillon étant composé de 63 personnes admissibles à la recherche, il ne manque que 3 répondants pour pouvoir affirmer tirer des résultats significatifs du point de vue de la taille de l'échantillon avec un niveau de confiance et une marge d'erreur tolérés. Pour l'échantillon de l'étude, la marge d'erreur de l'échantillon est d'environ 12 % ce qui est très élevé pour poser des

hypothèses sur le comportement de la population. Malgré le manque de significativité due à la taille de l'échantillon, les résultats de la recherche seront tout de même **présentés à titre indicatif du comportement de l'échantillon testé**. Dès lors, des conclusions générales quant à la population ne peuvent être tirées dans cette recherche.

Enfin, une dernière analyse impliquant des tests statistiques évalue l'existence d'une différence significative entre le genre et les résultats récoltés (niveaux de confort, de sensation et de satisfaction). Ces paramètres ont été évalués par les répondants sur des échelles de Likert à 7 niveaux (cf. questions 19, 20 et 32 du questionnaire). La différence est aussi testée pour l'habillement et l'IMC. Le genre est une variable dichotomique tandis que les autres variables sont de type qualitative mise sous la forme ordinale pour l'analyse des données selon les 7 niveaux de l'échelle de Likert. Ces analyses sont présentées dans le chapitre 0. Il vise à apporter les éléments de réponses aux sous-questions suivantes : « 4 : Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ? » et « 5 : Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ? »

Tout d'abord, chaque test statistique commence par la mise en place d'une hypothèse à tester. Elle est appelée hypothèse nulle et se note  $H_0$ . Si l'hypothèse nulle est rejetée, l'hypothèse alternative souvent notée  $H_1$  est vérifiée. Selon la distribution de l'échantillon, il est possible d'être amené à tirer de fausses conclusions. Il existe quatre conclusions possibles en général :

1. L'hypothèse nulle est acceptée, mais elle est vraie
2. L'hypothèse nulle est rejetée, mais elle est fausse
3. L'hypothèse nulle est rejetée, mais elle est vraie
4. L'hypothèse nulle est acceptée, mais elle est fausse

Les deux premières affirmations découlent de conclusions correctes, tandis que les deux dernières sont fausses. Celles-ci constituent des erreurs appelées de « première espèce » (3.) ou de « deuxième espèce » (4.). Un risque de conclure avec ces types d'erreurs est mesurable par la théorie des probabilités. On nomme respectivement les risques de réaliser chaque erreur le risque de première espèce et le risque de deuxième espèce. Le risque de première erreur est aussi appelé niveau ou seuil de signification du test. Il représente donc la limite à laquelle l'hypothèse nulle est rejetée ou non selon les résultats du test choisi. Il se note  $\alpha$ . Autrement dit,  $\alpha$  est la probabilité d'accepter  $H_1$  alors que  $H_0$  serait vraie. La limite supérieure du risque de première espèce est souvent prise égale à 5 %. On note alors  $\alpha \leq 0,05$ . La valeur p (= valeur de dépassement) est une valeur issue des tests qui permet de définir si l'hypothèse nulle posée est à rejeter ou non. Elle est comparée au seuil de signification ( $\alpha$ ) choisi par le chercheur afin de conclure quant à l'hypothèse posée. (Dagnelie, 2013)

Ensuite, deux types de tests sont cohérents pour évaluer l'existence d'une différence significative entre les genres selon la variable. Ils ne possèdent pas les mêmes hypothèses et conditions d'applications. Le premier est **le test paramétrique**

**de Student aussi appelé test t.** Il s'agit d'une catégorie de tests pour lesquels une hypothèse est posée quant à la distribution des données sous l'hypothèse nulle. La distribution hypothétique est souvent issue de **la loi normale**. Ces tests sont souvent plus puissants et précis que les tests non paramétriques, mais ils possèdent une série de conditions d'applications à respecter pour leur utilisation qui sont plus contraignantes. (Easily, 2024)

**Le test t** vise à déterminer s'il existe une différence statistiquement significative entre les moyennes des deux groupes de la variable dichotomique (ici le genre : homme et femme) pour une variable définissable sur une échelle métrique choisie (ici les niveaux des échelles de Likert). Plusieurs conditions sont à appliquer pour la bonne réalisation de ce test. D'une part, les échantillons de la variable dichotomique sont indépendants (la femme n'influence pas l'homme et inversement). D'autre part, les distributions des variables doivent suivre approximativement une distribution normale. Enfin, les variances des deux groupes sont calculées afin de savoir quelle version du test t il faut appliquer (variances égales ou inégales). (DATAtab, 2024b)

**Le test U de Mann-Whitney** est le pendant du test t dans sa version non paramétrique pour les échantillons indépendants. Comme celui-ci, il vise à déterminer si la différence significative statistique existe entre les deux groupes indépendants, mais cette fois, il se base sur la somme des rangs. (DATAtab, 2024b) Les tests de catégorie « non paramétriques » ne posent pas d'hypothèse sur la distribution des données. Par conséquent, ils sont souvent utilisés lorsqu'on ne la connaît pas. Ils permettent aussi de tester des échantillons de petite taille pour lesquels un test paramétrique est moins fiable. (Easily, 2024)

Les deux tests présentés ont l'avantage de ne pas nécessiter d'avoir la même taille d'échantillon pour les deux groupes testés. Ceci est notre cas puisque le nombre de femmes (17) est inférieur au nombre d'hommes (46). Pour chaque test sont reprises dans le Tableau 3-6 les hypothèses nulles et alternatives posées.

*Tableau 3-6 : Mise en comparaison des caractéristiques de chaque test statistique*

Test	Test t de Student	Test U de Mann-Whitney
Type	Paramétrique	Non paramétrique
Hypothèse nulle ( $H_0$ )	Les moyennes entre les deux groupes sont égales.	Il n'y a pas de différence entre les groupes.
Hypothèse alternative ( $H_1$ )	Les moyennes entre les deux groupes différents.	Il y a une différence entre les groupes.
Conditions d'application	Les données suivent une distribution normale. Les observations sont indépendantes. Les variables sont ordonnées selon une échelle métrique.	Les observations des deux groupes sont indépendantes. L'échantillonnage est aléatoire. Les données sont caractérisées par une variable ordinale.

Afin de déterminer la validité du test statistique à appliquer, **le test de Shapiro-Wilk** est effectué en premier lieu. Il pose comme hypothèse nulle le fait que l'échantillon soit issu d'une population de distribution normale. Pour ce faire, il se sert d'un rapport d'estimation de la variance. (Farnir, 2021) Il permet donc de vérifier la condition d'application majeure du test t soit la prise en compte d'une distribution normale dans les calculs opérés. Si à l'issue de ce test l'hypothèse nulle est rejetée, il conviendra d'appliquer le test U de Mann-Whitney. La distribution normale issue de valeurs de chaque échantillon indépendant est représentée sur les graphiques descriptifs du Chapitre 5. La courbe est tracée à partir de l'équation suivante dépendante de 2 paramètres de l'échantillon :  $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$  où  $\sigma$  est l'écart type,  $\mu$  = la moyenne.

**Le test de Shapiro-Wilk** nécessite un échantillon inférieur à 50 valeurs. (Farnir, 2021) C'est le cas ici puisqu'on l'applique à l'échantillon des 46 hommes puis à l'échantillon des 17 femmes. La marche à suivre est la suivante. Tout d'abord, les données de chaque échantillon sont classées par ordre croissant. La moyenne arithmétique est ensuite calculée pour les deux sexes. La somme des écarts à la moyenne (notée  $S^2$ ) est calculée sur base de la moyenne. Ensuite, le coefficient  $b^2$ , un estimateur de la variance, est calculé à l'aide d'un coefficient noté  $d$  et d'une valeur  $\alpha$  prise dans une table externe de valeurs croisées. Enfin,  $W$  est le rapport de  $b^2$  sur  $S^2$ . C'est cette valeur qui est comparée à un seuil critique (noté  $W_{0,05}$ ) déterminé dans une table de valeurs croisées selon la taille de l'échantillon et le seuil de confiance choisi (ici 5 %) pour vérifier l'acceptabilité de l'hypothèse nulle. Voici le détail des formules à appliquer où  $n$  est le nombre d'observations pour chaque échantillon (17 pour les femmes, 46 pour les hommes) (Farnir, 2021) :

- 1) Tri par ordre croissant :  $y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_n$  ;
- 2) Moyenne arithmétique :  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  ;
- 3) Somme des écarts à la moyenne :  $S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  ;
- 4) Calcul de  $d$  :  $d_i = y_{n-i+1} - y_i$  ;
- 5) Calcul de  $b^2$  :  $(\sum_{j=1}^k (\alpha_j * d_j))^2$  où  $k = \frac{n}{2}$  si  $n$  est pair ;  $k = \frac{(n-1)}{2}$  si  $n$  est impair ;
- 6) Calcul de  $W$  :  $W = \frac{b^2}{S^2}$
- 7) Si  $W_{obs} < W_{0,05}$ , l'hypothèse nulle est rejetée.

En pratique, **le test t** commence par l'application d'un test F. Il renvoie une valeur F et une valeur p associée à comparer au seuil de signification. Si la valeur p est inférieure à 0,05 (soit 5 %), l'hypothèse nulle d'égalité des variances est rejetée (=  $H_0$  du test F). Selon l'égalité des variances ou non entre l'échantillon des hommes et celui des femmes, la formule à appliquer pour la réalisation du test t n'est pas la même. Excel propose une réalisation détaillée des deux versions du test selon l'égalité des variances ou non. La valeur de t obtenue renvoie à une valeur p. Si cette valeur p

est inférieure à 0,05 (soit 5 %), l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes est rejetée (=  $H_0$  du test t).

La mise en application du **test U de Mann-Whitney** commence par le classement des observations en deux colonnes (hommes et femmes). Les données sont ensuite triées par ordre croissant pour chacun des échantillons. Une valeur du rang est attribuée pour chaque observation (il y a 63 rangs ici). Si une même valeur de l'échelle de Likert est attribuée à plusieurs observations, il convient de réaliser la moyenne des rangs concernés. *Exemple : « Les cases des rangs 7 à 9 ont les mêmes valeurs observées. On a 4 ; 4 ; 4 pour les trois cases concernées de la colonne des hommes. Leurs rangs respectifs sont 7 ; 8 ; 9. Étant donné qu'elles ont la même valeur, on réalise la moyenne des rangs pour les trois cases ce qui donne  $(7+8+9)/3 = 8$ , on attribue alors le rang 8 aux trois cases de valeur observée égale et ainsi de suite »*. Une fois l'attribution des valeurs des rangs réalisée, on calcule la somme des rangs de chaque colonne (hommes et femmes). Ensuite, la valeur U est calculée sur base de la taille du groupe (=n) et de la somme des rangs correspondants. Le U minimal entre les deux groupes est sélectionné pour la suite de la procédure. Ensuite, sur base de la moyenne ( $\mu_U$ ) et de l'écart type ( $\sigma_U$ ) du U minimal, la valeur de z est calculée ( $z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U}$ ). C'est à cette valeur de z qu'est attribuée une valeur p correspondante grâce à l'outil de Szyk & Szczepanek (2024). La valeur p est ensuite comparée au seuil de signification. Si la valeur p est inférieure à 0,05 (soit 5 %), l'hypothèse nulle est rejetée.

Dans le cas où une différence entre les genres s'avère être statistiquement significative pour l'une des variables testées, l'ampleur de l'effet sera évaluée pour approfondir l'analyse du résultat statistique. Elle est évaluée à l'aide du **d de Cohen** pour l'échantillon testé.

### 3.10 Discussion des résultats

Grâce aux résultats issus de la phase précédente, des conclusions présumant de la pertinence d'ajouter davantage de questions intégratives de la différence des genres dans l'enquête référente. Si la pertinence est affirmée, une analyse plus approfondie des questions ajoutées par la chercheuse doit s'opérer. On évalue la qualité des questions sur base de la méthodologie présentée dans l'article d'Attia et al. (2019) :

- La corrélation entre questions de même domaine ;
- La corrélation entre questions de domaines différents ;
- La validité discriminante entre questions ;
- La fiabilité du groupe de répondants ;
- La cohérence interne du questionnaire.

Cette étape, permet de qualifier l'apport des questions ajoutées au regard de la sous-question de recherche suivante :

Q5 : Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

Un nouvel outil d'évaluation du confort thermique pour les open-spaces serait alors proposé. Cependant, si l'ajout de questions intégratives de la différence des genres dans l'enquête référente s'avère être non pertinent, alors le questionnaire référent suffit à l'évaluation du confort thermique des employés en open-space.

### 3.11 Hypothèses de travail, forces et faiblesses

Dans cette section, les hypothèses de travail posées au début du cadre de la recherche sont explicitées. Certaines entraînent des forces et faiblesses directes. Elles sont intégrées pour chaque hypothèse abordée dans les paragraphes correspondants.

Le milieu d'étude est choisi pour son **large échantillon de répondants potentiels**, permettant d'anticiper sereinement le nombre de répondants futurs. Il n'est cependant pas représentatif des open-spaces en Belgique au vu de sa grande capacité, ce qui peut être perçu comme une limite de l'étude. À titre comparatif, trois autres espaces ont été envisagés pour servir de cadre à la recherche, mais ils ne comptaient pas plus de 30 personnes dans un même environnement hygrothermique avec un minimum de 12 personnes. On est ici bien loin de ces chiffres.

Le choix du bâtiment s'est tourné vers une **entreprise privée**, car les bâtiments publics contactés ont tous fait part d'une inquiétude quant à la potentielle remontée de plaintes du confort thermique par les fonctionnaires qui auraient été interrogés in situ. Cette crainte ne fut jamais verbalisée dans le cas de l'entreprise privée contactée.

Tout d'abord, le choix d'observer un échantillon d'un même open-space permet la comparaison des sensations thermiques des répondants. Ils sont soumis au même environnement au même moment. Cependant, des fluctuations plus ou moins significatives sont possibles dans un tel espace. C'est pourquoi l'utilisation d'une sonde unique impose de prendre l'hypothèse de **similitudes des caractéristiques hygrothermiques** du lieu dans la mesure du PMV de chaque répondant. Cette hypothèse induit une erreur dont on a conscience dans l'analyse des résultats.

L'idéal serait de fournir un dispositif de sondes par îlot de travail disposé en leur centre. Dans le cas d'étude choisi, on possède des îlots de quatre personnes ou de 8 personnes. Ceci permettrait d'identifier précisément les mesures hygrothermiques auxquels sont soumis les répondants. **L'erreur liée à la distance sondes-répondant** se verrait amoindrie puisqu'ils seraient tous proches de la même manière au dispositif. Une dernière hypothèse d'admission des répondants a été posée : seuls les répondants placés à l'étage du Testo 480 étaient admissibles pour l'analyse des données. Cette contrainte serait enlevée si l'on possédait de multiples dispositifs de sondes pouvant ainsi doubler la taille potentielle de l'échantillon (88 répondants potentiels par étage, 166 en tout). Cependant, une telle mise en place est utopique au vu du coût d'un unique appareil (environ 4000 € pour un kit complet de la société Testo). (*Testo 400 Kit de confort thermique avec trépied*, 2024)

La recherche du lieu d'étude passe par l'évaluation des profils des répondants quant à la **fragilité** de leur santé mentale. Il n'est pas pertinent ni éthique d'interroger

des personnes qui pourraient au vu de leur fragilité subir des conséquences à la suite de l'enquête sur leur bien-être personnel. C'est pourquoi un lieu de travail minimise l'impact possible. On entend par là que les employés d'une entreprise sont moins sujets à être fragilisés à la suite de l'enquête que des patients hospitalisés en soins de santé mentale par exemple. Le questionnaire n'engage à aucune obligation de répondre dans le but de protéger les répondants et répondantes d'un sentiment de violation de leur sphère intime. Les questions pouvant être liées à ce **sentiment d'intrusion** selon la chercheuse sont les questions 43 à 49.

Une version du questionnaire **en ligne accessible par un QR code** a été proposée lors de la première récolte de données in situ. Ceci dans le but de garantir un maximum de répondants ce jour-là, après avoir été prévenue par l'équipe du manque potentiel de temps à accorder à la recherche le premier jour de passage (beaucoup de réunions et visites sur chantier prévues). Cette version était exactement la même que celle soumise en version papier à l'exception que les hommes ont pu voir les questions destinées aux femmes.

Le groupe de répondantes est précieux pour l'analyse des données des questions qui leur sont dédiées. Seules les femmes fournissent des données aux questions 43 à 49. Cependant, le groupe étant constitué **d'uniquement 17 femmes**, cet aspect de la recherche a dû être mis de côté pour se concentrer uniquement sur les questions distribuées aux 63 répondants admissibles. Il aurait fallu un échantillon constitué de **minimum 20 femmes** pour pouvoir appliquer des tests statistiques recevables. Afin d'avoir une représentativité maximale des femmes dans l'échantillon, un idéal de 50 % de femmes doit être visé. On admet cependant ici qu'elles sont sous-représentées (27 %).

La recherche est effectuée en **période hivernale** afin d'avoir hypothétiquement un climat marqué par des températures faibles à l'extérieur. Avoir un cas extrême (canicule estivale ou pic de froid hivernal) permet d'observer plus aisément si la différence entre les genres se marque dans une situation pouvant être au départ, plus inconfortable. Cependant, les températures extérieures de l'année de la recherche ont été **exceptionnellement douces**. Les valeurs enregistrées ne comptent aucune période de gel ce qui ne s'était pas produit depuis 2017. (MIEVIS, 2024) Les températures extérieures de la période hivernale ne sont donc pas un facteur déterminant pris en compte dans l'analyse du confort thermique des répondants. Une période caniculaire observée n'était pas envisageable au vu des modalités pratiques temporelles de ce travail.

Les répondants de l'enquête pilote ne doivent **pas nécessairement appartenir au même espace thermique**. Ils apportent des données relatives uniquement à la formulation linguistique de l'enquête, à sa mise en forme et à la durée nécessaire pour la compléter. Par conséquent, les réponses de l'enquête pour cette phase n'ont pas été traitées, seuls les **retours jugés pertinents par la chercheuse** ont été pris en compte. Ce jugement subjectif entraîne un biais dans la méthodologie. Un **point de vue externe complémentaire** d'un spécialiste dans la rédaction d'enquête devrait être pris en compte pour assurer une qualité scientifique à l'ouvrage.

Certaines **réalités pratiques** entraînent des limites dans la mise en application de la méthodologie. Des adaptations ont été faites. Par exemple, la sonde a été placée

selon les réalités du site, ne rendant pas possible la mise en applications de toutes les recommandations scientifiques comme la hauteur de l'appareil à 60 cm du sol (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020). Le travail de recherche n'étant pas axé sur le cas d'étude de l'entreprise, mais bien une analyse de la pertinence d'une proposition de questionnaire, ceci est toléré pour autant que les biais soient pris en compte dans la discussion des résultats.

Le nombre de répondants finalement admissibles à l'étude est **trop faible** pour affirmer **la significativité des résultats sur la population visée** (cf. 3.9). Par contre, les résultats sont **significatifs de l'échantillon testé**. Cet angle d'approche est généralisé pour les deux chapitres de résultats qui suivent.

Les questionnaires sont **considérés comme irrecevables** pour l'analyse des données si :

- Le répondant n'est pas placé au même niveau que le Testo 480 soit le sous-sol (ou appelé aussi rez-de-jardin) des locaux ;
- Le répondant n'est pas un usager habituel des lieux ;
- Le questionnaire est illisible ;
- Le questionnaire possède un taux d'absence de réponse aux questions supérieur à 25 %.

**L'intervalle fixé pour la prise des mesures automatiques** à l'aide du Testo 480 est fixé à 30 minutes tout au long de la journée. Ce paramètre varie fortement selon les études. Il est fixé ici à 30 minutes afin de garantir une précision suffisante dans l'attribution des paramètres hygrothermiques utiles au calcul du PMV. Ils permettent de retrouver selon l'heure et la date à laquelle le répondant remplit le questionnaire (question 2), les paramètres de la période.

Enfin, une faiblesse de la recherche est le manque de répondants ayant répondu à deux reprises aux enquêtes (à chaque passage de la chercheuse). La collecte de données est **scindée en une phase d'amorce et de clôture** afin de tester statistiquement la fiabilité de l'échantillon. Ici, dix hommes et cinq femmes ont répondu à deux reprises. Ces **nombres étant insuffisants** à la réalisation du test avec un intervalle de confiance suffisant, cette partie de la méthodologie ne pourra être développée dans les résultats. Il aurait fallu avoir au minimum 20 hommes et 20 femmes pour appliquer les tests complémentaires. Le **séquençage de la collecte de données n'est donc plus pertinent** dans ce cas, mais il aura permis la diversification et l'élargissement de l'échantillon. Une solution à envisager pour réduire le risque lié au séquençage serait de tester les questions les plus importantes subtilement à deux reprises dans le questionnaire soumis à des endroits différents.

### 3.12 Critères de qualité

Afin de garantir une certaine qualité à la recherche, plusieurs processus ont été mis en place avec comme optique de toujours anticiper les dysfonctionnements inhérents à la méthodologie appliquée.

D'une part, le choix de l'appareil de mesures pour l'étude du lieu s'est porté sur le plus précis disponible. Le Testo 480 possède un niveau de qualité supérieur à de

nombreux autres outils d'aide à la mesure du confort thermique grâce entre autres à son **thermomètre à globe**. Il est rare d'avoir une mesure de la température opérative précise dans l'évaluation du PMV. Elle est souvent estimée en-dehors des recherches scientifiques. Le **degré de précision des sondes** respectives est également remarquable. Il garantit une certaine fiabilité dans les résultats obtenus malgré les quelques écarts aux recommandations de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) pour le placement de l'appareil.

La **contribution des répondants à l'enquête pilote** pour les questions complémentaires aux enquêtes de référence constitue une part importante de la qualité de la formulation linguistique et de la mise en page du questionnaire. On peut également noter que l'utilisation, comme appui, des questions issues d'une version standardisée apporte une certaine qualité au questionnaire.

Ensuite, les hypothèses posées et la méthodologie appliquée pour la mise en place du Testo 480 contribuent également à apporter la meilleure qualité possible dans la récolte de données. Nous pouvons citer : le placement du dispositif le plus optimal possible au regard des réalités logistiques ; le contrôle du programme automatisé de récolte de données in situ avant le lancement du vrai programme ; la mise en marche des mesures de caractéristiques hygrothermiques in situ **30 minutes après l'installation des sondes** (temps d'adaptation des sondes à l'environnement thermique).

Les **encodages manuels** des formulaires sur Excel ont été **vérifiés à deux reprises** par la chercheuse afin de minimiser le risque d'erreurs manuelles dans les résultats. **L'application de tests statistiques** pour appuyer l'analyse des résultats contribue à la qualité de la recherche.

D'autre part, l'apprentissage de la **maîtrise d'utilisation des sondes du Testo 480** est une étape indispensable dans la mise en place d'un processus résilient pour la prise de mesure de certains paramètres du site. Des scénarios anticipatifs de dysfonctionnement quelconque sont à envisager. Par exemple, une panne de courant fictive a été simulée. Un test de fonctionnement de l'appareil sur batterie a été réalisé également. Ce point de la préparation contribue à une prévention nécessaire lorsqu'une sonde est laissée un temps sans surveillance.

Le bâtiment qui a été sélectionné pour l'étude est le fruit d'un **travail de recherche en Province de Liège** sur les open-spaces potentiellement intéressants pour la recherche. C'est au final celui **contenant le plus de répondants potentiels** qui a été sélectionné. Plusieurs entreprises n'ont jamais donné réponse, certains bureaux l'ont fait avec l'expression de craintes. Au final, le bâtiment choisi a été soumis dernièrement à une enquête du confort thermique en vue d'améliorer le système HVAC de l'atrium. Les administrateurs qui ont accepté la réalisation de l'étude dans les lieux n'y voyaient donc aucun inconvénient. La recherche a pu se faire dans un **cadre serein** où les employés avaient déjà eu l'opportunité antérieurement de communiquer leur satisfaction. La mise en place du Testo 480 dans les lieux a été faite avec beaucoup de **respect du matériel par l'équipe**. Puisqu'il s'agit d'un bureau d'études, la plupart des employés connaissent la valeur d'un tel outil. Des affiches ont tout de même été disposées demandant au personnel de ne pas toucher à l'appareil, de ne pas le débrancher et de joindre la chercheuse en cas de problèmes rencontrés.

Comme introduit à la phase de l'Enquête pilote et rappelé dans les hypothèses de travail, pour les femmes, une page supplémentaire contenant des questions sur les menstruations, la grossesse, les moyens de contraception et la ménopause leur a été distribuée. Les hommes n'ont pas eu accès à ces questions. Cette décision découle de la volonté de **protéger au mieux les répondantes**. D'éventuelles conséquences du caractère intime que peuvent laisser paraître certaines questions, comme des remarques déplacées par exemple, sont minimisées ici.

Avant d'installer le Testo 480, une analyse des lieux a été faite avec l'aide d'un administrateur afin de le placer **le plus au centre possible** sans déranger le personnel, mais aussi à proximité du service comptant le plus grand nombre de femmes. Cette étape a permis **d'optimiser le nombre de répondantes dans l'enquête**.

Enfin, une **triangulation des données** illustrée à la Figure 3-13 est opérée en vérifiant les informations obtenues au travers des questionnaires avec les PMV calculés sur base des données quantitatives récoltées par le Testo 480 et les informations transmises dans la littérature scientifique existante. De multiples entretiens préliminaires ont été réalisés avec divers experts en vue d'améliorer la méthodologie sur base des retours constructifs ; d'anticiper la récolte de données in situ ; de comprendre les caractéristiques du bâtiment étudié et d'appliquer rigoureusement les tests statistiques choisis. Ils ont donc également contribué à renforcer la qualité de l'analyse des résultats.

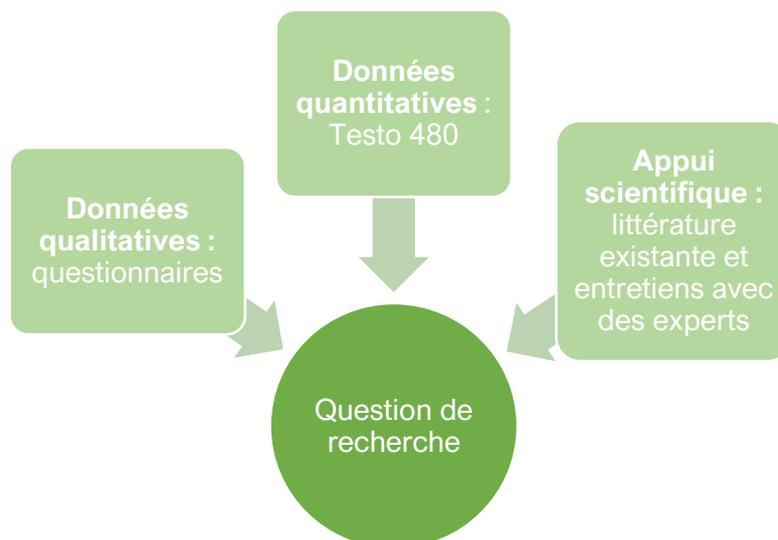


Figure 3-13 : Triangulation des données

## 4 Résultats : données récoltées

### 4.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats issus de l'application des deux sous-phases de la partie Traitement et analyse des données de la méthodologie rappelées sur la Figure 4-1. Les résultats proviennent des questionnaires et des mesures récoltées par le Testo 480. Ils sont présentés avec une approche centrée sur les statistiques descriptives. Pour l'analyse des réponses aux questionnaires, la différenciation des genres est mise en évidence dans la représentation des données. Ce chapitre permet également d'introduire les analyses statistiques plus complexes du chapitre 0.

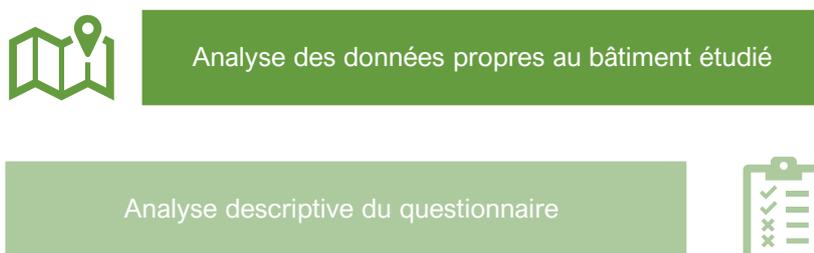


Figure 4-1 : Sous-phases traitement et analyse des données

Le nombre de questions de l'enquête étant généreux, un tri a été préalablement réalisé pour se recentrer sur la question de recherche de l'étude. Il est présenté dans le Tableau 3-4 de la méthodologie. La question de recherche principale et les sous-questions de recherche abordées dans ce chapitre sont reprises ci-dessous. Pour chaque début de section de ce chapitre, la sous-question de recherche en lien avec les résultats présentés est rappelée. Des icônes sont également disposées sous chaque figure dans le but de synthétiser de quelles questions de l'enquête proviennent les données représentées ainsi que l'échantillon admissible pour la question considérée.

**Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?**

1. Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?
2. Quels sont les profils d'utilisateurs interrogés au sein du bâtiment ?
3. Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?

### 4.2 Les mesures hygrothermiques du lieu

Les résultats issus de la récolte des mesures enregistrées par le Testo 480 sont illustrés au travers des graphiques qui suivent. Ils apportent les éléments de réponse nécessaires à la sous-question de recherche suivante :

Q1 : Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?

Le graphique présenté à la Figure 4-2 illustre l'évolution des paramètres hygrothermiques récoltés par le biais du Testo 480 soient ; la température, la vitesse et l'humidité relative de l'air ainsi que la température opérative. Toutes les données récoltées sont disponibles dans le fichier externe compressé. Des zones sont mises en évidence sur la Figure 4-2 afin d'identifier facilement les jours ouvrés et les week-ends. L'évolution de l'humidité relative se fait aléatoirement avec cependant un schéma récurrent de diminution du taux d'humidité lorsque les températures augmentent.

La température opérative est toujours inférieure à la température de l'air et évolue en concordance avec les variations de la température de l'air. Bien que très semblable à la courbe de la température de l'air, elle se développe avec quelques variations plus marquées qui lui sont propres. Les deux courbes de température suivent un schéma récurrent d'évolution entre une température haute diminuant progressivement pour augmenter ensuite jusqu'à la prochaine diminution progressive lors des jours ouvrés (du lundi au vendredi inclus). Les températures baissent la nuit à partir d'environ 21h30 pour remonter progressivement vers 7h du matin. Le week-end, les températures diminuent progressivement, puis atteignent un niveau plus stable que pour les jours ouvrés. Les températures remontent alors vers 7h pour accueillir les employés le lundi matin.

Le Tableau 4-1 reprend les valeurs moyennes à partir de l'ensemble des mesures du Testo 480 de la température de l'air et du taux d'humidité relative intérieurs. Les minima sont mis en évidence en vert tandis que les maxima sont mis en orange.

*Tableau 4-1 : Tableau des températures et taux d'humidité relative de l'air intérieur pour la période étudiée*

Températures moyennes de l'air (°C)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Intérieure minimale	22,3	20,9	21,9	22,1	20,8	19,6	19,7	20,9	21,4	20,8	21,1	19,3	19,1	19,3
Intérieure moyenne	24,0	22,7	23,3	23,0	21,6	19,9	22,1	22,9	22,9	22,6	22,9	20,5	19,7	21,0
Intérieure maximale	25,1	24,1	24,7	24,2	22,2	20,8	24,0	25,0	24,6	24,5	25,0	21,5	20,4	22,8
Humidités relatives moyennes (%)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Intérieure minimale	37,3	42,2	43,3	44,3	46,5	46,5	45,3	42,3	40,2	45,1	37,4	40,8	42,1	39,8
Intérieure moyenne	40,6	46,0	47,0	47,6	48,4	47,9	47,8	45,4	42,2	47,3	41,6	42,6	43,2	42,1
Intérieure maximale	42,9	49,3	50,0	50,7	50,2	49,9	50,1	49,7	46,1	50,4	47,7	43,5	44,1	44,3

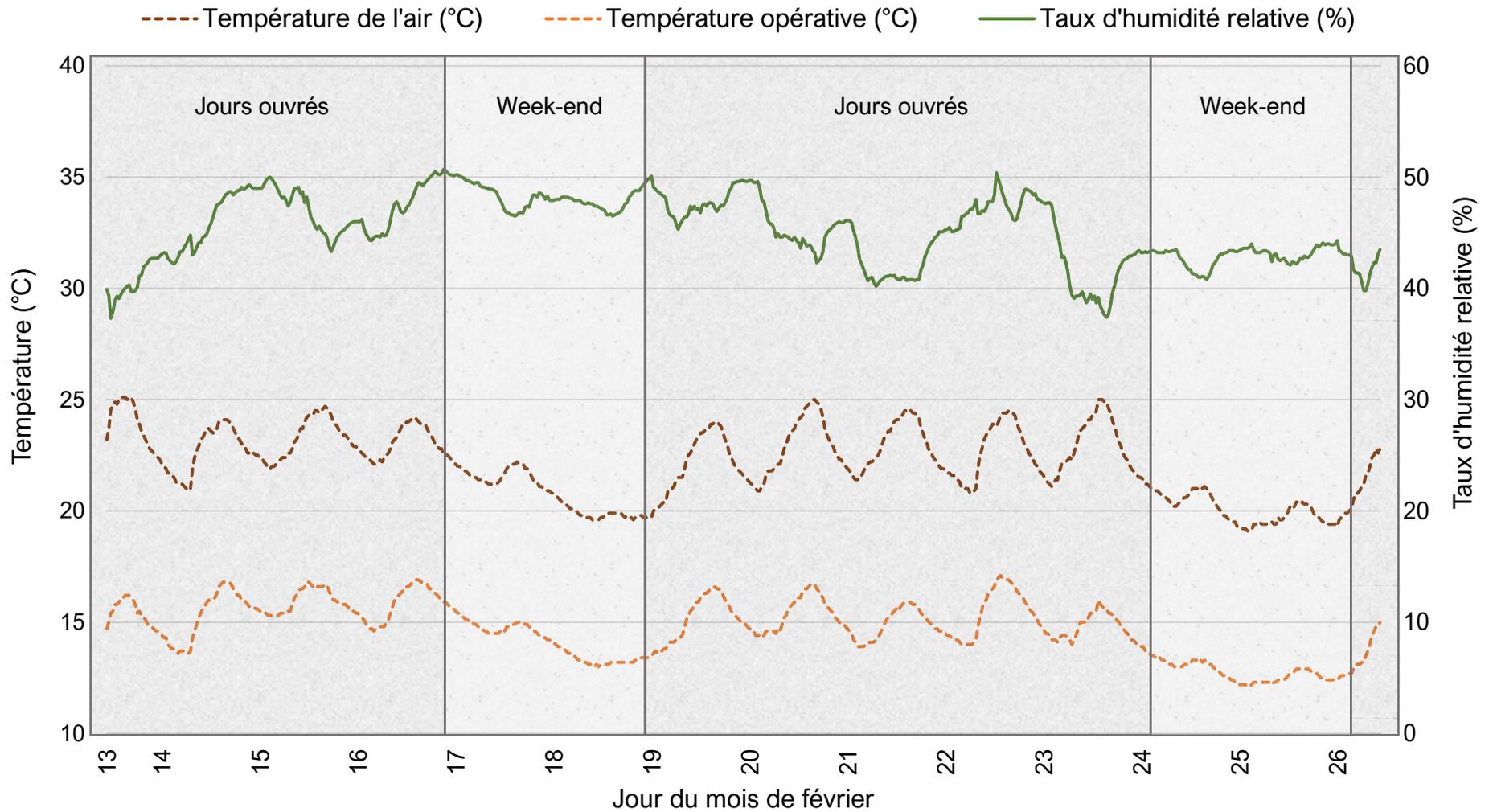


Figure 4-2 : Graphique d'évolution des températures de l'air, opérative et du taux d'humidité relative de l'air de l'open-space sur la période étudiée

La vitesse de l'air est stable sur l'ensemble de la période étudiée avec une valeur avoisinant 0,12 m/s. Elle atteint ponctuellement une valeur de 0,13 m/s.

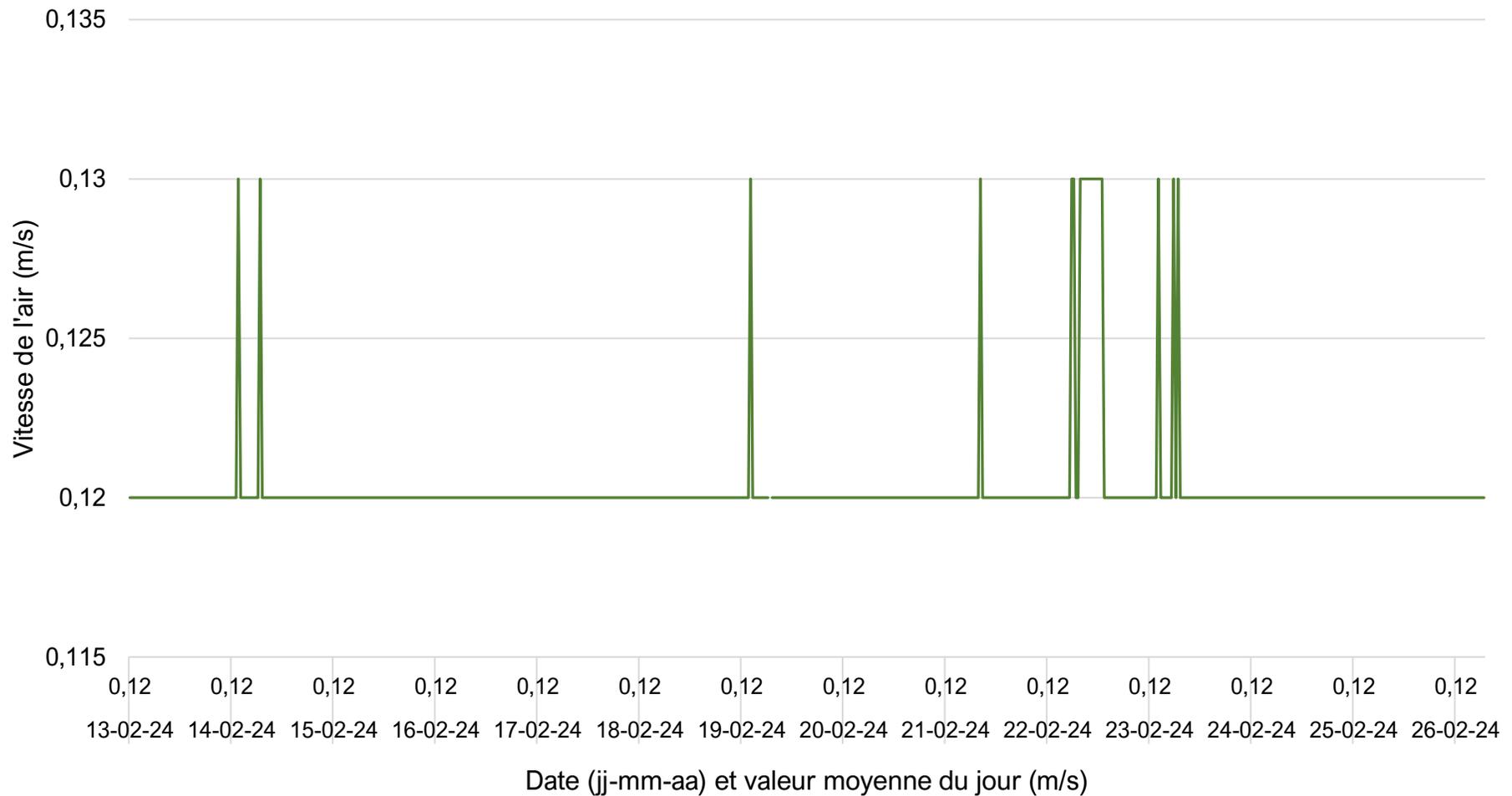


Figure 4-3 : Graphique d'évolution de la vitesse de l'air de l'open-space sur la période étudiée

### 4.3 Les profils des répondants

Dans cette section, les profils des répondants sont illustrés au travers de différentes caractéristiques récoltées par le biais des questionnaires. Elle vise à donner les indications nécessaires pour répondre à la sous-question de recherche suivante :

Q2 : Quels sont les profils d'utilisateurs interrogés au sein du bâtiment ?

#### 4.3.1 Leur genre

La Figure 4-4 illustre les pourcentages d'hommes et de femmes ayant contribué à la recherche par le biais des questionnaires. Les hommes sont représentés en majorité. Le

Tableau 4-2 reprend le détail des effectifs et fréquences du groupe.

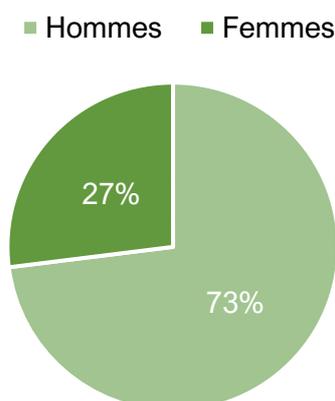


Figure 4-4 : Répartition des genres des répondants



Les données traitées sont celles de la **question 2**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

Tableau 4-2 : Détail de la répartition des genres des répondants

	Effectif	Fréquence (%)
Femmes	17	<b>27</b>
Hommes	46	<b>73</b>
Total	<b>63</b>	100

Les taux de répondants selon le genre et la soumission de l'enquête sont représentés à la Figure 4-5. Les taux de participants admissibles se répartissent avec une fréquence avoisinant les 50 % sur les deux soumissions de l'enquête. Les femmes sont cependant plus nombreuses à la deuxième soumission de l'enquête. Quant aux

hommes, ils sont plus nombreux lors de la première soumission de l'enquête. Il est important de noter que les fréquences sont exprimées sur tous les histogrammes qui suivent selon l'échantillon de chaque variable (% des hommes par rapport au total des hommes, % des femmes par rapport au total des femmes, etc.).

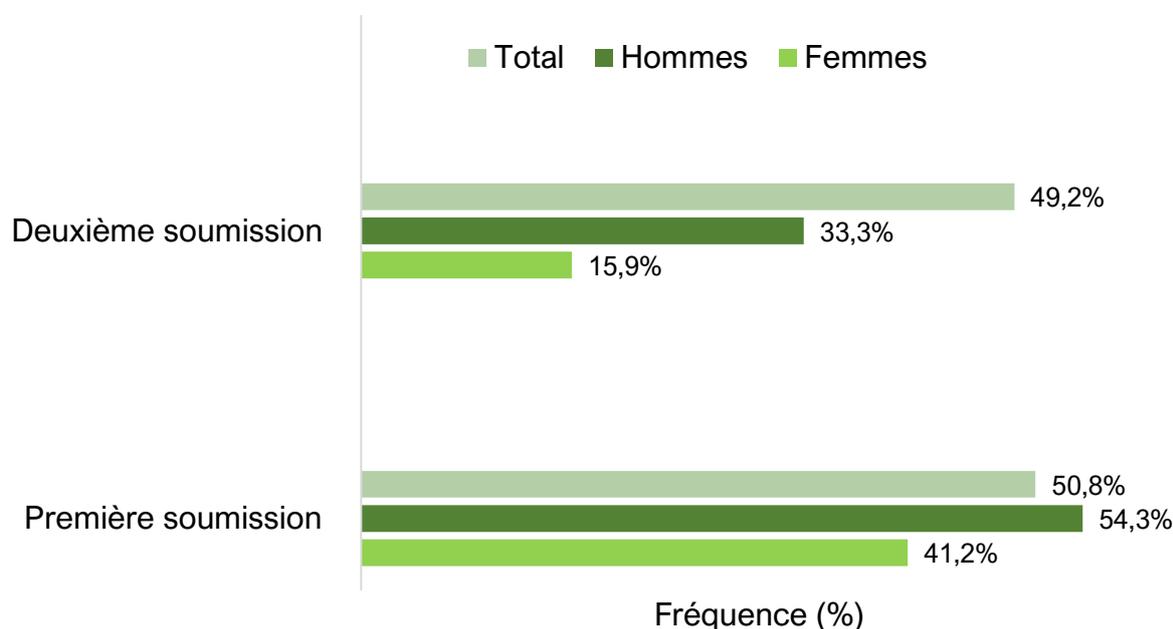


Figure 4-5 : Répartition des genres selon la soumission de l'enquête



Les données traitées sont celles des **questions 1 et 2**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

Tableau 4-3 : Tableau de répartition des effectifs et des fréquences selon la soumission de l'enquête

Catégorie		Effectif	Fréquence (%)
Première soumission	Femmes	7	11,1
	Hommes	25	39,7
	<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>50,8</b>
Deuxième soumission	Femmes	10	15,9
	Hommes	21	33,3
	<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>49,2</b>

La Figure 4-6 illustre les taux de répartition des fréquences des répondants selon leur tranche d'âge et leur genre. La majorité des hommes et des femmes se trouve dans la tranche la plus jeune de 21 à 30 ans. C'est ensuite la catégorie de 41 à 50 ans qui compte le plus de répondants. À titre indicatif, la moyenne d'âge des femmes ayant répondu est de 37 ans et demi. Celle des hommes est de 40 ans et demi, tandis que celle du groupe entier considéré est de 39,7 ans. L'âge minimal est de 23 ans tandis que l'âge maximal est de 71 ans. Le détail des effectifs pour chaque tranche d'âge est disponible à Annexe 7 au Tableau A.7 - 1. On observe un manque de représentativité dans les catégories de 61 à 70 ans et de 71 à 80 ans.

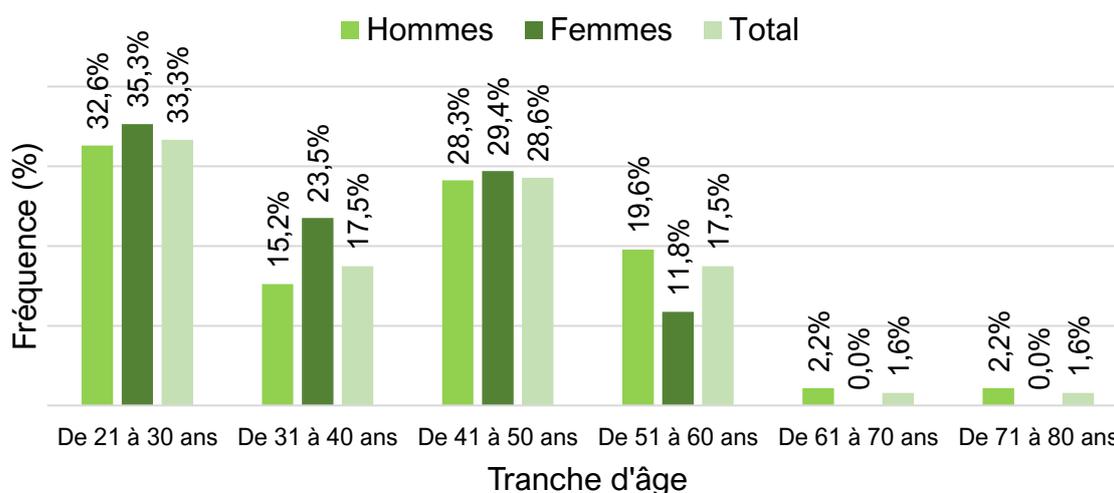


Figure 4-6 : Histogramme de répartition des répondants selon leur tranche d'âge et leur genre



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 3**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.3.2 Leur placement

La Figure 3-5 présentée dans la méthodologie donne des indications quant à la répartition des répondants dans le plan. La Figure A.7 - 1 disposée à l'Annexe 7 indique le taux de répondants selon le genre proche ou non d'un mur extérieur ou d'une fenêtre. Les données traitées pour cet histogramme sont celles issues des questions 2, 23 et 24. Les 63 répondants admissibles sont considérés. Concernant la proximité à un mur extérieur, l'effectif majoritaire des hommes et des femmes correspond au placement à plus de cinq mètres d'un mur extérieur. Quant à la proximité à une fenêtre, la modalité la plus fréquente des hommes et des femmes est une position à moins de cinq mètres d'une fenêtre.

#### 4.3.3 Leur indice de masse corporel

La Figure 4-7 reprend la répartition du groupe admissible selon leur indice de masse corporelle calculé grâce à leur poids et à leur taille. Le groupe ne comprend pas d'hommes qualifiés de « maigre » selon l'échelle de référence utilisée. Il ne comprend pas non plus de femmes qualifiées par les termes « obésité sévère ». La répartition maximale est atteinte pour les hommes et les femmes dans la catégorie « corpulence normale ». C'est ensuite la catégorie « surpoids » qui atteint la deuxième plus grande fréquence pour les deux genres avec un taux proportionnellement semblable pour les deux sexes. Pour rappel, le Tableau 3-5 reprend les indices associés aux qualificatifs de l'échelle d'indice de masse corporelle.

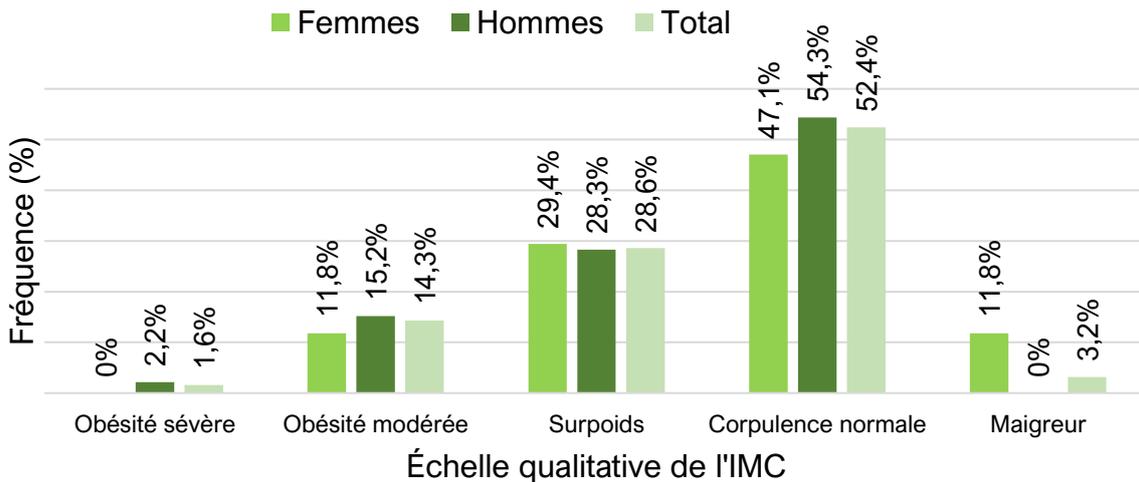


Figure 4-7 : Histogramme de répartition des répondants selon leur IMC et leur genre



Les données traitées sont celles des **questions 2, 4 et 5**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.3.4 Leur habillement

L'habillement des répondants est une variable mesurée sur base d'une grille à cocher de vêtement décrit dans le questionnaire. L'isolation vestimentaire sur base de ces données a été calculée et répartie par intervalles sur la Figure 4-8. On y observe que la majorité des répondants possède selon les données communiquées une isolation vestimentaire comprise entre 0,5 et 0,75 clo. Les femmes sont majoritairement comprises dans cet intervalle. La deuxième catégorie qui contient une fréquence élevée de femmes est celle entre 1 et 1,5 clo. Quant aux hommes, ils sont représentés de manière plus importante dans l'intervalle entre 0,25 et 0,5 clo.

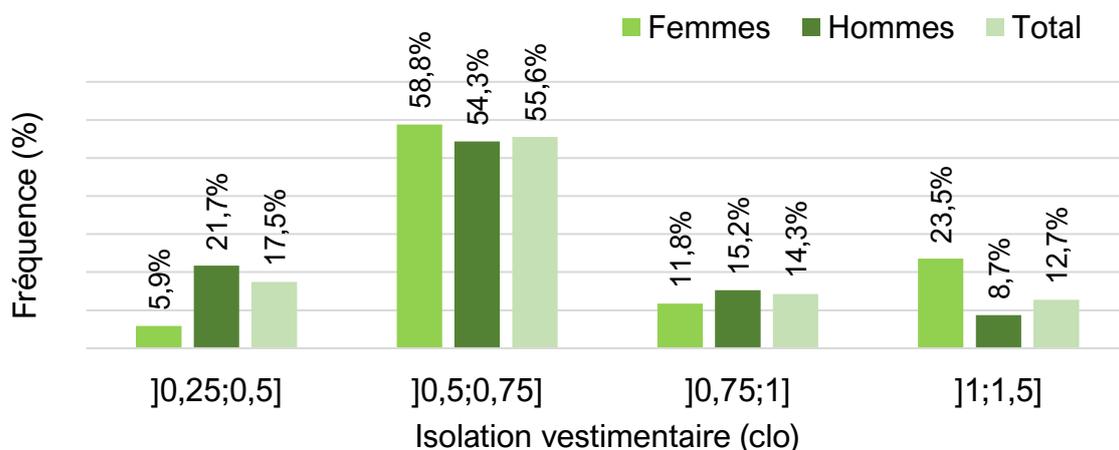


Figure 4-8 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur isolation vestimentaire



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 25**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.3.5 Leur niveau d'activité

La répartition des fréquences du groupe de répondants selon leur niveau d'activité est disponible à l'Annexe 7 sur la Figure A.7 - 2. L'entièreté du groupe de répondants a déclaré être assis au moment de l'enquête. Leur niveau d'activité considéré pour le calcul du PMV est donc de 1 met soit approximativement 58 W/m<sup>2</sup> pour 100 % de l'échantillon. Ce constat facilite la démarche du calcul du PMV. Les données traitées sont celles de la question 27 avec les 63 répondants admissibles pris en considération.

#### 4.3.6 Leur temps d'occupation dans l'open-space

Le temps d'occupation moyen par semaine dans l'espace est une des données recueillies par le biais des questionnaires. Ils servent à l'analyse des dossiers admissibles à la recherche. Les personnes éventuellement de passage (client...) ne sont pas admises. L'objectif est d'avoir des répondants qui connaissent déjà l'espace et savent répondre aux questions d'usage posées sans détourner les réponses ou poser des hypothèses sur leur comportement possible. Les résultats qui ressortent de cette question sont illustrés à la Figure A.7 - 3 (cf. Annexe 7) La répartition des fréquences des répondants se fait en trois intervalles. L'intervalle comptant le plus de répondants est celui entre 35 et 40 heures passées dans l'espace. Les femmes et les hommes y sont le plus représentés. C'est ensuite l'intervalle entre 0 et 35 heures passées dans l'espace qui compte le plus d'hommes. Tandis que la deuxième tranche de femmes les plus représentées est celle entre 40 et 50 heures moyennes. En moyenne, les femmes passent environ 36 heures et 10 minutes dans l'open-space par semaine. La valeur moyenne arrondie des hommes est de 36 heures et 30 minutes. Les résultats proviennent des questions 2 et 17 de l'enquête. Il est important de noter qu'une femme a laissé un champ vide à la question 17. Au total, 62 répondants sont donc considérés ici.

#### 4.3.7 Autres caractéristiques

D'autres caractéristiques liées au domaine de la santé des répondants ont été récoltées. Elles ne seront pas toutes présentées dans cette section, seulement les plus pertinentes sont développées ici. Des résultats complémentaires qui ne sont pas analysés sont disposés à l'Annexe 7. La Figure A.7 - 4 (cf. Annexe 7) présente la répartition des fréquences des répondants selon les groupes « fumeur » et « non-fumeur ». Les femmes sont toutes comprises dans la catégorie « non-fumeur ». Les hommes sont très peu représentés dans la catégorie « fumeur » (6,3 % de l'échantillon). Par conséquent, au vu du manque de représentativité des deux groupes

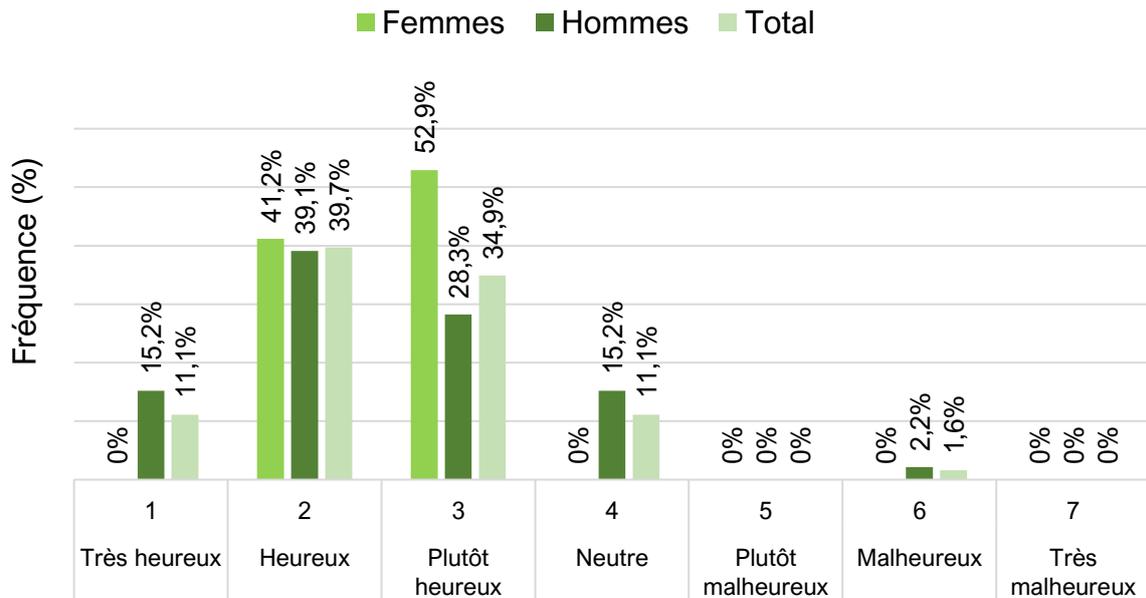
pour les deux catégories, il n'est pas utile d'épiloguer sur cette variable. Ces résultats sont issus des questions 2 et 6 des 63 questionnaires.

Les fréquences des répondants selon qu'ils aient pratiqué une activité sportive avant l'enquête ou non sont illustrées sur la Figure A.7 - 5 (cf. Annexe 7). La majorité des femmes et des hommes constituant au total 79,3 % des répondants (effectif équivalent de 50 personnes) ont déclaré ne pas avoir fait de sport avant la réalisation de l'enquête. Cette valeur engage à ne pas aller plus loin dans l'analyse statistique de ces données par manque de représentativité des usagers ayant pratiqué un sport avant l'enquête. Les résultats sont issus des questions 2 et 7 des 63 formulaires considérés dans l'étude.

Les données relatives aux sujets ou non à des troubles du sommeil sont représentées sur l'histogramme de la Figure A.7 - 6 (cf. Annexe 7). On y observe pour les deux genres une fréquence maximale dans la catégorie « Non-sujet » à des troubles du sommeil. Ils constituent au total 73 % de l'échantillon. Comme évoqué pour les variables précédentes, cette donnée n'est pas suffisamment représentée dans les deux catégories pour se permettre de la considérer dans une analyse statistique plus complète. Les résultats sont issus des questions 2 et 10 de l'entièreté du groupe de participants.

La Figure A.7 - 3 (cf. Annexe 7) reprend la distribution des fréquences selon les catégories de personnes en phase de digestion ou non. Les répondants sont sous-représentés dans la catégorie de réponses « oui » à la question « Êtes-vous en phase de digestion ? ». Ils constituent seulement 19 % de l'échantillon total considéré ce qui correspond à 12 personnes sur 63. Cette caractéristique est questionnée, car elle peut impacter le métabolisme des répondants. Cependant, elle ne pourra être développée davantage. Les résultats sont issus des 63 formulaires admissibles sur base des questions 2 et 14.

Le niveau de bien-être mental allant de très malheureux à très heureux sur une échelle de Likert est une des questions posées dans l'enquête. Les résultats qui en découlent sont illustrés au travers des fréquences sur la Figure 4-9 ci-dessous. Les femmes sont représentées uniquement dans les niveaux « heureux » (=2) et « très heureux » (= 1). Les hommes sont distribués sur la partie supérieure de l'échelle (de 1 à 4) à l'exception d'un seul répondant s'estimant « malheureux » au moment de l'enquête. et 3. La plus grande proportion des répondants se situent dans les catégories 2 et 3. Le maxima est le qualitatif « plutôt heureux » chez les femmes et « heureux » chez les hommes. Les catégories à connotation négative sont sous-représentées. Cette variable n'est donc pas développée davantage dans l'analyse statistique approfondie du Chapitre 5.



### Échelle qualitative de bien-être

Figure 4-9 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau de bien-être mental



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 28**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

Comme pour la figure précédente, une échelle de Likert à 7 niveaux a permis l'évaluation du niveau de concentration de l'échantillon. Sa distribution va des niveaux « très concentré » (=1) à « très déconcentré » (=7). La Figure 4-10 ci-dessous illustre la distribution des fréquences sur cette échelle d'évaluation. Comme pour le niveau de bien-être mental, le niveau de concentration des femmes de l'échantillon est uniquement compris dans la partie supérieure de l'échelle allant de « neutre » (=4) à « très concentré » (=1). Les hommes se répartissent dans toutes les catégories excepté le niveau extrême « très déconcentré » (=7). La plus grande partie des répondants se situent dans les catégories 2 et 3. Cependant, la fréquence maximale des femmes est associée au qualificatif « plutôt concentré » et celle des hommes est la catégorie « concentre ».

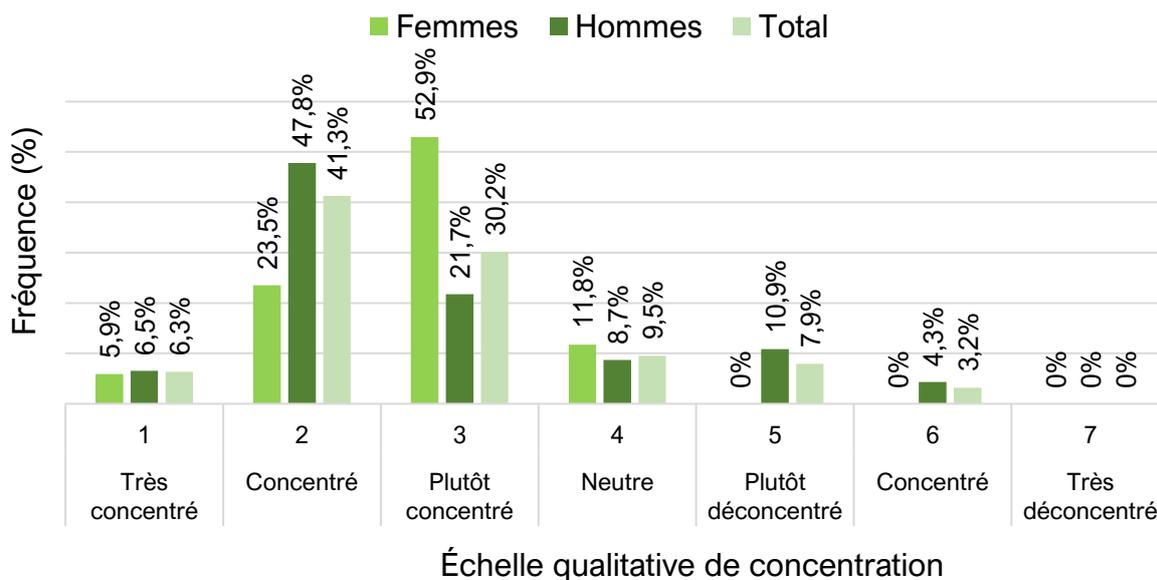


Figure 4-10 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau de concentration



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 29**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

Enfin, le niveau d'éveil a été évalué sur une échelle de Likert à 7 niveaux également allant de « très éveillé » (=1) à « très somnolent » (=7) (cf. Figure 4-11 ci-dessous). Les femmes sont réparties entre les niveaux 1 et 5 tandis que les hommes le sont des niveaux 1 à 6. L'extrême « très somnolent » n'est pas représenté dans l'étude. Le niveau comptant le plus d'occurrences pour les hommes et les femmes est le niveau « éveillé » (=2). C'est ensuite la catégorie « neutre » qui compte le plus de femmes et « très éveillé » qui compte le plus d'hommes.

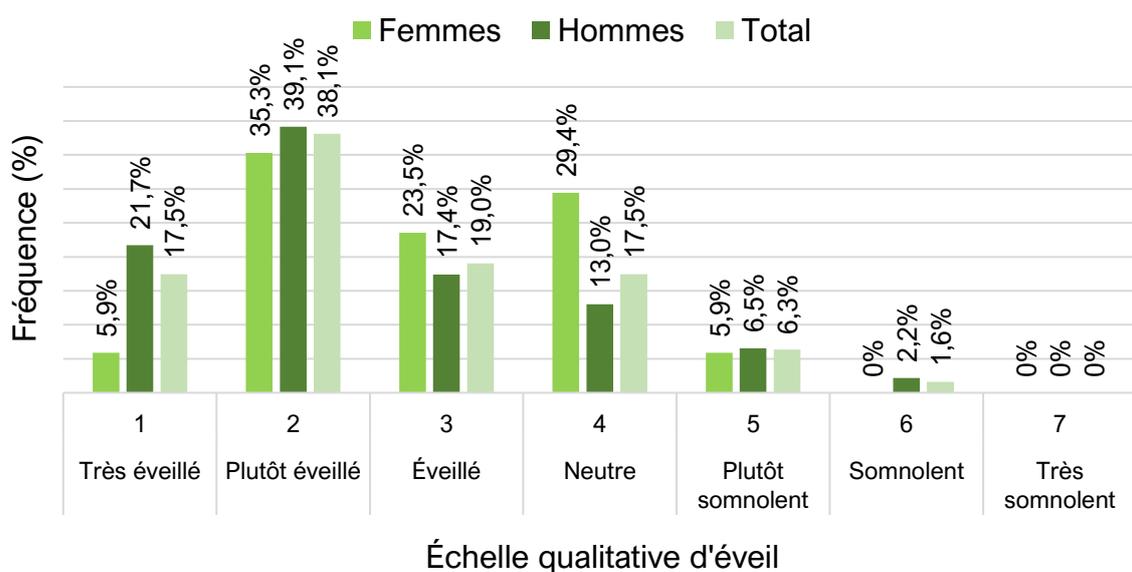


Figure 4-11 : Histogramme de répartition des genres selon le niveau d'éveil



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 30**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

## 4.4 Les avis des répondants et leurs perceptions

Cette section présente les différents graphes et histogrammes liés à la sous-question de recherche suivante :

Q3 : Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?

### 4.4.1 La sensation thermique

Les niveaux de sensations thermiques sont exprimés sur une échelle de Likert allant de « froid » à « chaud ». Le graphique de la Figure 4-12 représente la distribution de l'échantillon au moyen d'un histogramme des fréquences de chaque catégorie. La fréquence maximale totale est celle de la catégorie « neutre ». La majorité des femmes ont qualifié leur sensation thermique de « légèrement frais », tandis que la majorité des hommes l'ont qualifiée de « neutre ». Ces catégories restent les plus représentées. Les hommes sont distribués sur l'ensemble de l'échelle tandis que les femmes ne le sont pas pour les sensations « froid », « légèrement chaud » et « chaud ».

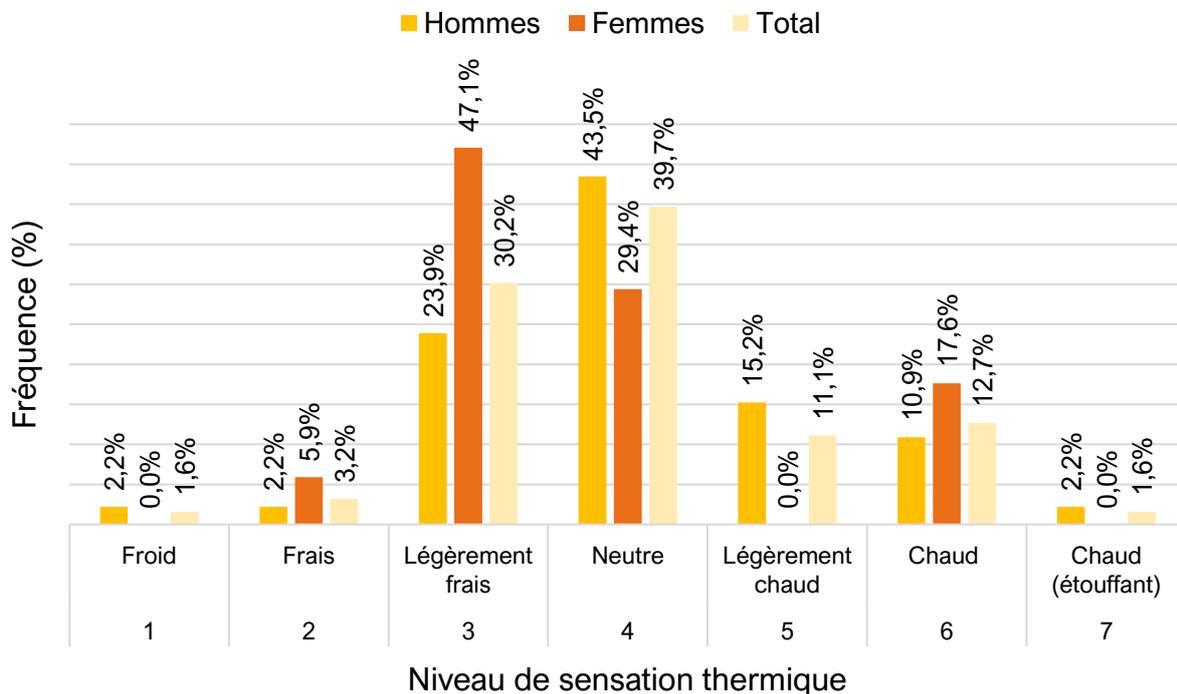


Figure 4-12 : Graphique et histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de sensation thermique exprimé



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 19**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.4.2 Le niveau de confort thermique

Le niveau de confort thermique est exprimé sur une échelle de Likert allant de « très inconfortable » à « très confortable ». Le graphique de répartition de la Figure 4-13 suit les mêmes modalités que la précédente. On y observe une fréquence maximale pour l'ensemble de l'échantillon à la catégorie « confortable ». Les femmes sont majoritaires dans le niveau de confort thermique exprimé « juste confortable » suivi de près par la catégorie « confortable » puis « juste inconfortable ». Les hommes quant à eux sont majoritaires dans la catégorie « confortable » puis dans la catégorie « neutre ». La seule catégorie qui ne compte aucun sujet est « très inconfortable ». De plus, il n'y a aucune femme dans la catégorie « très confortable ».

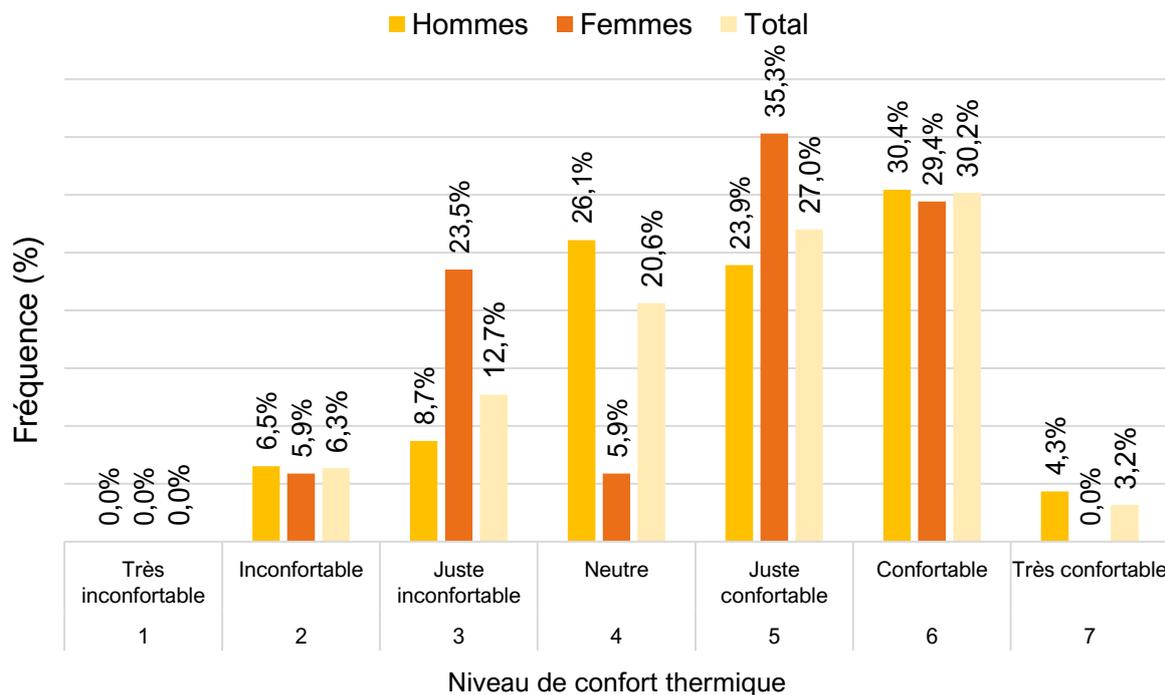


Figure 4-13 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de confort thermique exprimé



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 20**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.4.3 La satisfaction de la température de l'air

La satisfaction de la température ambiante de l'air est une des variables de la recherche. Elle est évaluée sur une échelle de Likert allant de « très insatisfait » à « très satisfait ». La Figure 4-14 illustre la répartition de l'échantillon. On y observe une fréquence maximale totale à la catégorie 6 correspondant à une qualification de « satisfait ». Les hommes y sont majoritaires également tandis que les femmes sont majoritairement représentées dans la catégorie 5 qui correspond à « plutôt satisfait ». La deuxième fréquence la plus élevée est celle de la catégorie « plutôt satisfait ». Les

femmes sont présentes à 23,5 % dans la catégorie « plutôt insatisfait » alors que les hommes le sont très peu.

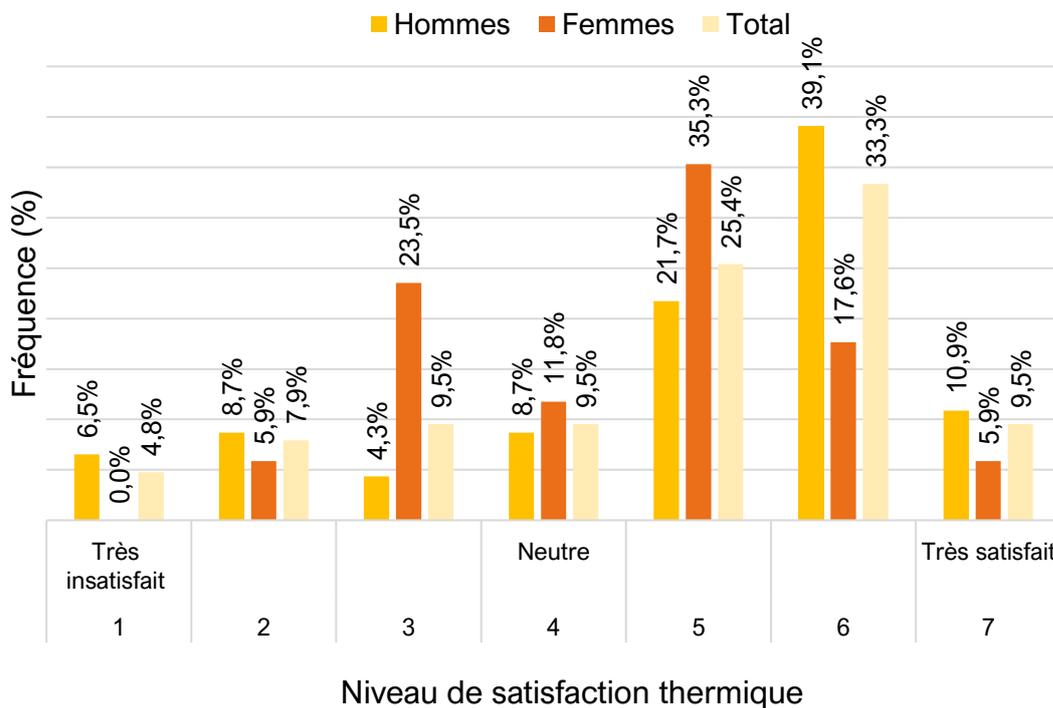


Figure 4-14 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur niveau de satisfaction thermique exprimé



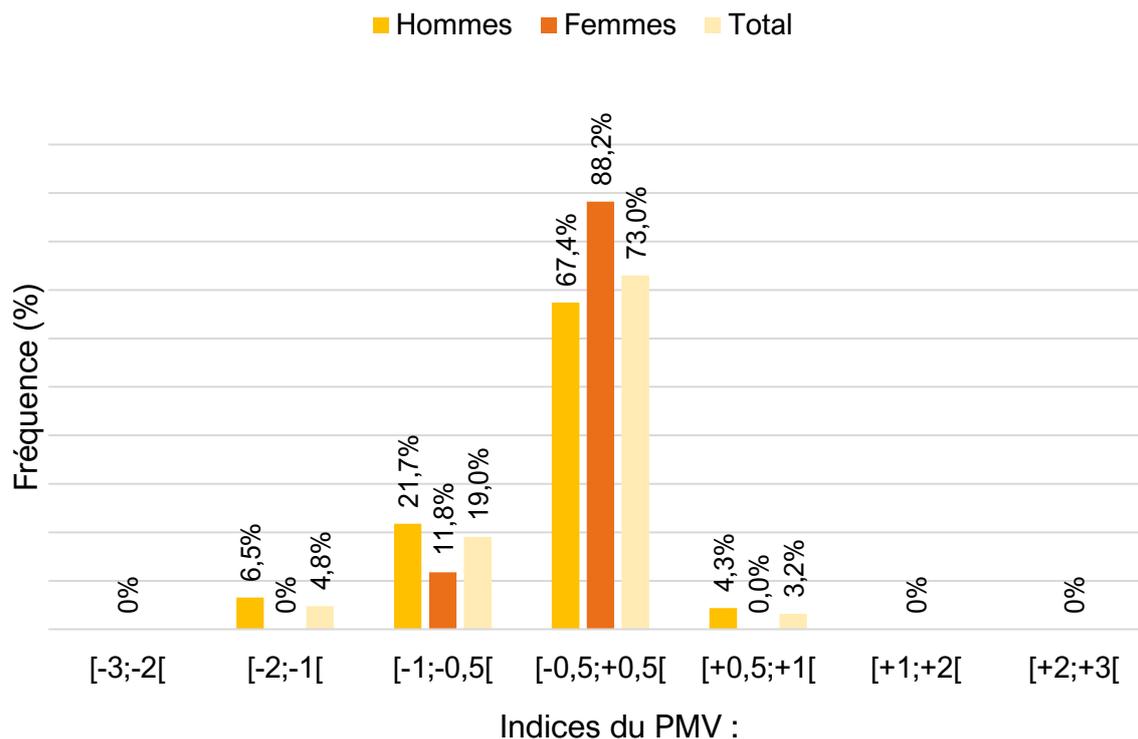
Les données traitées sont celles des **questions 2 et 32**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.4.4 L'application du modèle de Fanger : PMV et PPD

Le calcul du PMV réalisé à l'aide de l'outil développé par Tartarini et al. (2020) est représenté selon les répartitions de fréquence à la Figure 4-15. On y observe une fréquence maximale pour les hommes et les femmes dans l'intervalle d'acceptabilité de l'environnement thermique sur l'échelle de Fanger. Cet intervalle va des indices -0,5 à +0,5. (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020) Au total, 73 % de l'échantillon s'y trouve. Pour rappel, les indices du PMV et leur qualificatif associé sont disposés à la Figure 2-2. Les hommes sont distribués dans trois autres intervalles avec majoritairement une tendance à une sensation prédite de « neutre à légèrement froid ». Les femmes sont uniquement réparties sur deux catégories de sensation thermique (de « légèrement froid » à « légèrement chaud » et uniquement « légèrement froid »). Les hommes de l'étude possèdent une sensation prédite allant de « froid à légèrement chaud ».



-3 = Très froid ; -2 = Froid ; -1 = Légèrement froid ;  
0 = Neutre ;

+1 = Légèrement chaud ; +2 = Légèrement chaud ; +3 = Chaud

Figure 4-15 : Histogramme de répartition des répondants selon leur genre et leur PMV calculés



Les données traitées sont celles des **questions 1, 2, 25, 27 et les mesures du Testo 480**.

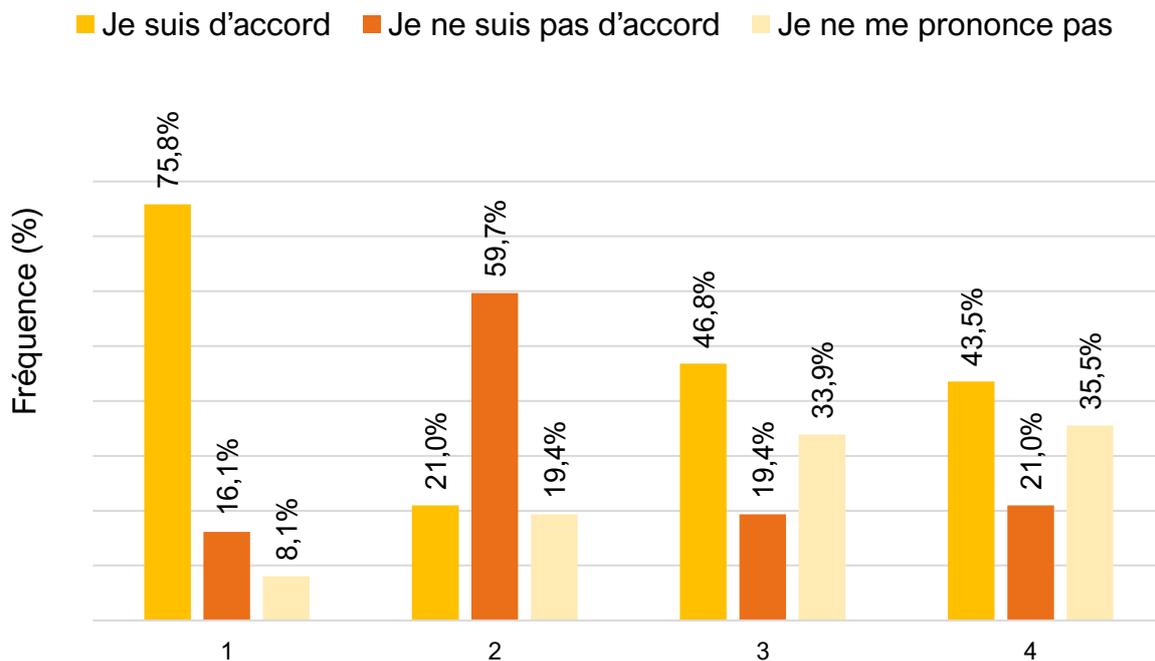


Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

#### 4.4.5 Les réponses aux affirmations

Quatre affirmations ont permis de recueillir l'opinion des répondants sur des clichés sociétaux du confort thermique. Le choix de réponses inclut la possibilité de ne pas se prononcer. Les quatre affirmations testées sont disposées sur l'histogramme de la Figure 4-16. L'affirmation 1 possède une fréquence de 75,8 % pour la catégorie « Je suis d'accord ». C'est la plus haute des quatre affirmations. L'affirmation 2 a une fréquence maximale de 59,7 % pour la catégorie « Je ne suis pas d'accord ». Ensuite, les affirmations liées au genre ont des fréquences maximales proches dans la catégorie « Je suis d'accord » (46,8% et 43,5%). La catégorie « Je ne me prononce pas » est minimale uniquement pour les deux premières affirmations qui ne s'expriment pas sur le genre. La fréquence de cette réponse augmente pour les affirmations qui abordent le genre. Des histogrammes des fréquences détaillés selon le genre et l'affirmation sont disposés à l'Annexe 7 aux Figure A.7 - 13, Figure A.7 - 14, Figure A.7 - 15 et Figure A.7 - 16. On y observe que pour l'affirmation relative à la

productivité, les taux des genres pour chaque réponse sont très proches (cf. Figure A.7 - 13). Pour l'affirmation qui aborde l'effet de groupe, la différence se marque dans les catégories « Je ne suis pas d'accord » et « Je ne me prononce pas ». Les femmes se prononcent plus pour la réponse « Je ne suis pas d'accord » (cf. Figure A.7 - 14). Pour l'affirmation stéréotypée des femmes, les avis varient entre les sexes, mais la majorité des femmes et des hommes restent comprise dans la catégorie « Je suis d'accord » (cf. Figure A.7 - 15). Enfin, pour l'affirmation stéréotypée des hommes, le constat est semblable à la précédente. Les deux sexes restent majoritaires dans la catégorie « Je suis d'accord ». Cependant, les fréquences des hommes sont très proches pour les catégories « je ne me prononce pas » et « Je suis d'accord » (cf. Figure A.7 - 16).



**1** = Il semblerait que les **conditions thermiques** impactent la **productivité**.

**2** = Il semblerait que **l'opinion personnelle** soit influencée par **l'effet de groupe** en termes de sensation thermique.

**3** = Il semblerait que les **femmes** ont souvent davantage froid que les **hommes**.

**4** = Il semblerait que les **hommes** ont souvent davantage chaud que les **femmes**.

Figure 4-16 : Histogramme de répartition des taux de réponse aux affirmations selon le genre



Les données traitées sont celles des **questions 34, 35, 36 et 37**.



Ici, **62 répondants** sont considérés. Un questionnaire a été laissé sans réponse.

## 4.5 Synthèse des résultats

### 4.5.1 Les mesures hygrothermiques du lieu

Les mesures d'humidité relative de l'air sont toutes comprises dans l'intervalle de faible impact du confort thermique. La vitesse de l'air est continuellement proche de la valeur idéale en hiver. Les températures opératives reflètent l'impact des baies vitrées à proximité de la sonde. Les températures intérieures reflètent le programme de chauffage du bâtiment.

### 4.5.2 Les profils des répondants

Le nombre de femmes est minoritaire constituant moins de 30 % de l'échantillon. Les répondants se répartissent sur des tranches d'âge allant de 21 ans à 71 ans. Ils ne sont pas tous placés sous les mêmes conditions (proximité à une fenêtre ou un mur extérieur). Leur indice de masse corporelle varie fortement avec une majorité dans les catégories qualifiées de « corpulence normale » et de « surpoids ». Leur habillement est fort variable avec 73 % du groupe en dessous de la valeur approximative d'une tenue hivernale (1 clo). L'entièreté du groupe possède un taux métabolique de 1 met au moment de l'enquête. Le temps d'occupation dans l'open-space varie fortement avec au minimum 8 heures par semaine et au maximum 48 heures par semaine. Le groupe n'est pas représentatif en faveur du tabagisme, du sommeil, de l'activité sportive réalisée avant l'enquête et de la digestion. Le niveau de bien-être, de concentration et d'éveil sont majoritairement distribués dans les échelles positives (très heureux à neutre ; très concentré à neutre ; très éveillé à neutre). Effectivement, pour le bien-être 96,8% des sujets sont dans les niveaux « positifs » et neutre. Pour le niveau de concentration, ils sont 87,3% dans cette partie de l'échelle quant au niveau d'éveil ils y sont à 92,1%

### 4.5.3 Les avis des répondants et leurs perceptions

Le niveau de sensation thermique exprimé reflète une distribution majoritaire entre les niveaux d'échelle « légèrement frais » à « chaud ». Les femmes et les hommes sont en majorité dans les catégories « légèrement frais » et « neutre ». Le niveau de confort thermique se distribue entre les niveaux d'échelle « inconfortable » à « très confortable ». La majorité des hommes est dans la catégorie « confortable » tandis que la majorité des femmes est dans « juste confortable ». Le niveau de satisfaction à la température de l'air se développe sur toutes les catégories allant de « très insatisfaits » à « très satisfaits ». La majorité des hommes est dans la catégorie « satisfait » tandis que la majorité des femmes est dans « plutôt satisfait ». Le PMV calculé prédit sur base de chaque paramètre propre au répondant (température opérative, température de l'air, habillement, activité métabolique, humidité relative) la sensation thermique ressentie. Une grande majorité de l'échantillon se trouve dans l'intervalle de prédiction correspondant à un environnement thermique acceptable. Les réponses aux affirmations montrent un taux plus prononcé au choix de l'évitement pour les questions genrées.

## 5 Résultats des tests statistiques

### 5.1 Introduction

Précédemment introduite dans la méthodologie, l'analyse des résultats au moyen de tests statistiques est présentée dans ce chapitre. Ces tests permettent de répondre à l'aide de vérification d'hypothèses posées aux sous-questions de recherche suivantes :

**Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?**

4. Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?
5. Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

Pour rappel, ce chapitre est la réalisation de la dernière partie de la phase Traitement et analyse des données présentées dans la méthodologie. La Figure 5-1 reprend la sous-phase concernée. À la suite de l'analyse statistique des résultats de ce chapitre, des discussions présumeront de la pertinence d'opérer un ajout d'une dimension davantage inclusive du genre de la femme dans les enquêtes de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Ces discussions sont présentées au Chapitre 6.



Analyse statistique des résultats

Figure 5-1 : Sous-phase traitement et analyse des données

### 5.2 Test de la différence entre les genres : sensations thermiques exprimées

Cette partie des résultats présente les valeurs issues des tests statistiques réalisés à l'aide d'Excel pour déterminer si la différence de sensations thermiques exprimées est significative statistiquement entre les hommes et les femmes de l'échantillon. Pour rappel, la sensation thermique est exprimée sur une échelle de Likert allant de « chaud » à « froid ». Elle introduit la discussion de la sous-question de recherche suivante :

Q4 : Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?

#### 5.2.1 Test de Shapiro-Wilk

Le test de Shapiro-Wilk est utilisé afin de vérifier si les distributions des variables des hommes et des femmes pour la sensation thermique suivent une distribution

normale ou non. Selon le résultat, le test t de Student ou le test U de Mann-Whitney sera opéré afin de conclure quant à l'existence ou non d'une différence entre les genres pour la variable de la sensation thermique exprimée.



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 19**.



Les **63** répondants admissibles à la recherche sont considérés.



L'hypothèse nulle est :  $H_0 : X_i \approx N(\mu, \sigma^2)$

Voici le tableau des résultats issus du test :

*Tableau 5-1 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : sensations thermiques*

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Moyenne ( $\mu$ )	4,09	3,29
Somme des écarts à la moyenne ( $S^2$ )	59,65	15,33
$k$	23	8
Estimateur de la variance ( $b^2$ )	54,82	13,02
$W$	<b>0,919</b>	<b>0,838</b>
$W_{0,05}$	<b>0,945</b>	<b>0,892</b>

Le niveau de signification est de 5% il est pris en compte dans la valeur de  $W_{0,05}$  issu d'une table statistique de valeurs selon la taille des échantillons ( $n=46$  : hommes,  $n=17$  : femmes). La valeur de  $W$  étant inférieure à celle de  $W_{0,05}$  pour les hommes et pour les femmes, l'hypothèse nulle est rejetée. Les distributions des échantillons ne suivent pas la distribution gaussienne issue de la loi normale. Le test t de Student ne peut donc être appliqué. **Le test U de Mann-Whitney** est développé pour évaluer l'existence d'une différence significative dans l'échantillon de répondants entre les genres pour le niveau de sensation thermique.

### 5.2.2 Test U de Mann-Whitney

Afin de réaliser le test de Mann-Whitney, les données de chaque échantillon sont attribuées à un rang. Ensuite, la somme des deux rangs (homme et femmes) a été calculée. Grâce à cette somme, la valeur U de chaque catégorie est calculée. Le U minimal est retenu pour la suite des calculs. Le nombre d'hommes excède 20 observations (46), par conséquent, la table de Mann-Whitney ne convient pas pour trouver le  $U_{critique}$ . La valeur de z est utilisée sur base de l'U minimal,  $\mu_U$  et  $\sigma_U$ . La valeur p correspondante à la valeur de z pour une distribution normale permet alors de rejeter ou d'accepter l'hypothèse nulle avec un risque de première erreur de 5%.



L'hypothèse nulle est : il n'y a pas de différence entre les genres

Les résultats du test sont repris au Tableau 5-2 ci-dessous :

*Tableau 5-2 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour le niveau de sensation thermique exprimé*

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Taille du groupe	46	17
Somme des rangs	1641	375
Valeur U	560	<b>222</b>
Valeur $\mu_U$	391	
Valeur $\sigma_U$	64,58	
Valeur z	-2,617	
Valeur p correspondante	<b>0,009</b>	

La valeur p étant inférieure au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ , l'hypothèse nulle est rejetée. L'hypothèse alternative est acceptée. On peut conclure **qu'il existe une différence significative de l'échantillon entre les genres pour la variable de la sensation thermique exprimée.**

### 5.2.3 Ampleur de l'effet

La différence entre les genres étant significative selon le test de Mann-Whitney, le d de Cohen est calculé pour évaluer l'ampleur de l'effet de cette différence. Le résultat est de 0,68 ce qui représente une taille d'effet moyenne. Elle indique qu'environ 76% des femmes de la population auraient une valeur de sensation thermique inférieure à la moyenne du groupe des hommes. (Anderson, 2023) On rappelle ici que les résultats ne sont pas significatifs de la population à cause de la taille de l'échantillon testé (cf. formule de Cochran à la section 3.9). Cette ampleur d'effet est donc indicative de l'échantillon testé, mais pas applicable à la population.

$$d \text{ de Cohen} = \frac{(4,09 - 3,29)}{1,16} = 0,68$$

## 5.3 Test de la différence entre les genres : niveau de confort thermique exprimé

Cette partie des résultats reprend la même structure que la précédente section pour l'évaluation de la différence du niveau de confort thermique entre les genres. Il est exprimé par les répondants sur une échelle à 7 niveaux allant de « très inconfortable » à « très confortable ». Elle introduit la discussion de la sous-question de recherche suivante :

Q4 : Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?

### 5.3.1 Test de Shapiro-Wilk

La même méthodologie que celle de la sensation thermique est appliquée ici pour le niveau de confort thermique. Les informations relatives à l'échantillon et au test appliqué sont les suivantes :



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 20**.



Les **63** répondants admissibles à la recherche sont considérés.



L'hypothèse nulle est :  $H_0 : X_i \approx N(\mu, \sigma^2)$

Voici le tableau des résultats issus du test :

*Tableau 5-3 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : confort thermique*

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Moyenne ( $\mu$ )	4,76	4,59
Somme des écarts à la moyenne ( $S^2$ )	74,37	28,12
$k$	23	8
Estimateur de la variance ( $b^2$ )	67,55	23,91
$W$	<b>0,908</b>	<b>0,850</b>
$W_{0,05}$	<b>0,945</b>	<b>0,892</b>

Le niveau de signification est de 5% il est pris en compte dans la valeur de  $W_{0,05}$  issu d'une table statistique de valeurs selon la taille des échantillons ( $n=46$  : hommes,  $n=17$  : femmes). La valeur de  $W$  étant inférieure à celle de  $W_{0,05}$  pour les hommes et pour les femmes, l'hypothèse nulle est rejetée. Les distributions des échantillons ne suivent pas la distribution gaussienne issue de la loi normale. Le test t de Student ne peut donc être appliqué. **Le test U de Mann-Whitney** est développé pour évaluer l'existence d'une différence significative dans l'échantillon de répondants entre les genres pour le niveau de confort thermique.

### 5.3.2 Test U de Mann-Whitney

Comme pour la sensation thermique, le niveau de confort thermique selon le genre est soumis au test de Mann-Whitney. Le test suit la même structure et donne les valeurs disposées au Tableau 5-4.



L'hypothèse nulle est : il n'y a pas de différence entre les genres

Tableau 5-4 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour le niveau de confort thermique exprimé

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Taille du groupe	46	17
Somme des rangs	1496,5	519,5
Valeur U	415,5	<b>366,5</b>
Valeur $\mu_U$	391	
Valeur $\sigma_U$	64,58	
Valeur z	-0,379	
Valeur p correspondante	<b>0,704</b>	

La valeur p étant supérieure au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ , l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. **Il n'y a donc pas de différence significative entre les genres pour le niveau de confort thermique des répondants.**

## 5.4 Test de la différence entre les genres : satisfaction de la température

Cette partie des résultats reprend la même structure que la précédente section pour l'évaluation de la différence de la satisfaction thermique entre les genres. La satisfaction de la température est exprimée sur une échelle à 7 niveaux allant de « très satisfait » à « très insatisfait ». Elle introduit également la discussion de la sous-question de recherche suivante :

Q4 : Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?

### 5.4.1 Test de Shapiro-Wilk

Comme pour les niveaux de sensations thermiques et de confort thermique, le test de Shapiro-Wilk est opéré selon les données suivantes :



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 32**.



Les **63** répondants admissibles à la recherche sont considérés.



L'hypothèse nulle est :  $H_0 : X_i \approx N(\mu, \sigma^2)$

Voici le tableau des résultats issus du test :

Tableau 5-5 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : satisfaction thermique

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Moyenne ( $\mu$ )	5	4,76

Somme des écarts à la moyenne ( $S^2$ )	126	25,06
$k$	23	8
Estimateur de la variance ( $b^2$ )	103,79	22,44
$W$	<b>0,824</b>	<b>0,896</b>
$W_{0,05}$	<b>0,945</b>	<b>0,892</b>

Le niveau de signification est de 5%. Il est pris en compte dans la valeur de  $W_{0,05}$  issu d'une table statistique de valeurs selon la taille des échantillons ( $n=46$  : hommes,  $n=17$  : femmes). La valeur de  $W$  étant inférieure à celle de  $W_{0,05}$  pour les hommes, l'hypothèse nulle est rejetée. La distribution de l'échantillon des hommes ne suit pas la distribution gaussienne issue de la loi normale. Cependant, pour les femmes, la valeur de  $W$  est légèrement supérieure à celle de  $W_{0,05}$ . L'hypothèse nulle est acceptée avec un risque de première erreur de 5%. Comme les résultats de chaque genre ne concluent pas tous les deux à l'acceptation de l'hypothèse nulle, le test t de Student ne peut être appliqué sans avoir un risque d'erreur dans le p value. **Le test U de Mann-Whitney** est donc développé pour évaluer l'existence d'une différence significative dans l'échantillon de répondants entre les genres pour le niveau de satisfaction thermique.

#### 5.4.2 Test U de Mann-Whitney

La méthodologie appliquée pour la satisfaction thermique est la même que celle présentée à la section dédiée au niveau de sensation thermique exprimé. Le risque de première erreur choisi est de 5%. Les résultats à ce test pour la satisfaction à la température de l'air sont repris au Tableau 5-6.



L'hypothèse nulle est : il n'y a pas de différence entre les genres

Tableau 5-6 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour la satisfaction thermique

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Taille du groupe	46	17
Somme des rangs	1543,5	472,5
Valeur U	462,5	<b>319,5</b>
Valeur $\mu_U$	391	
Valeur $\sigma_U$	64,58	
Valeur z	-1,107	
Valeur p correspondante	<b>0,268</b>	

La valeur p étant supérieure au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ , l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. **Il n'y a donc pas de différence significative entre les genres pour la satisfaction thermique des répondants.**

## 5.5 Résultats complémentaires à l'étude

### 5.5.1 Test de la différence entre les genres : l'habillement

Afin d'approfondir les réponses données à l'impact potentiel de la différence des genres sur le confort thermique, l'habillement est testé pour chaque sexe en suivant la même méthodologie que précédemment.

#### 5.5.1.1 Test de Shapiro-Wilk

Les informations nécessaires à la réalisation de ce test proviennent de l'estimation du clo, valeur uniaxiale de l'isolation vestimentaire des usagers grâce à la grille descriptive des habits portés à cocher fournie dans l'enquête.



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 25**.



Les **63** répondants admissibles à la recherche sont considérés.



L'hypothèse nulle est :  $H_0 : X_i \approx N(\mu, \sigma^2)$

Voici les résultats du test de Shapiro-Wilk :

*Tableau 5-7 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : Habillement*

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Moyenne ( $\mu$ )	0,659	0,795
Somme des écarts à la moyenne ( $S^2$ )	2,17	0,72
$k$	23	8
Estimateur de la variance ( $b^2$ )	2,02	0,66
$W$	<b>0,933</b>	<b>0,913</b>
$W_{0,05}$	<b>0,945</b>	<b>0,892</b>

La valeur de  $W$  étant inférieure à celle de  $W_{0,05}$  pour les hommes, l'hypothèse nulle est rejetée. La distribution de l'échantillon des hommes ne suit pas la distribution gaussienne issue de la loi normale. Cependant, pour les femmes, la valeur de  $W$  est légèrement supérieure à celle de  $W_{0,05}$ . L'hypothèse nulle est acceptée avec un risque de première erreur de 5%. Comme les résultats de chaque genre ne concluent pas tous les deux à l'acceptation de l'hypothèse nulle, le test t de Student ne peut être appliqué sans avoir un risque d'erreur dans le p value. **Le test U de Mann-Whitney** est donc développé pour évaluer l'existence d'une différence significative dans l'échantillon de répondants entre les genres pour l'isolation vestimentaire.

### 5.5.1.2 Test U de Mann-Whitney



L'hypothèse nulle est : il n'y a pas de différence entre les genres

Voici le tableau des résultats du test de Mann-Whitney opéré :

Tableau 5-8 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour l'habillement

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Taille du groupe	46	17
Somme des rangs	1312,5	703,5
Valeur U	<b>231,5</b>	550,5
Valeur $\mu_U$	391	
Valeur $\sigma_U$	64,58	
Valeur z	-2,469	
Valeur p correspondante	<b>0,013</b>	

La valeur p étant inférieure au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ , l'hypothèse nulle est rejetée. L'hypothèse alternative est acceptée. **On peut conclure qu'il existe une différence significative de l'échantillon entre les genres pour la variable de l'habillement.**

### 5.5.1.3 Ampleur de l'effet

Comme pour le niveau de sensation thermique, les résultats présument à la significativité de la différence des genres pour l'habillement. Par conséquent, l'ampleur de l'effet est mesurée à l'aide du d de Cohen. Le résultat est de 0,68 ce qui représente une taille d'effet moyenne. Elle indique qu'environ 73% des hommes de la population auraient une valeur d'isolation vestimentaire inférieure à la moyenne du groupe des femmes. (Anderson, 2023) On rappelle ici que les résultats ne sont pas significatifs de la population à cause de la taille de l'échantillon testé (cf. formule de Cochran à la section 3.9). Cette ampleur d'effet est donc indicative de l'échantillon testé, mais pas applicable à la population.

$$d \text{ de Cohen} = \frac{(0,79 - 0,66)}{0,224} = 0,60$$

## 5.5.2 Test de la différence entre les genres : l'IMC

Dans la même démarche que celle de l'habillement, l'indice de masse corporel calculé sur base de la taille et du poids de chaque personne est soumis au test statistique afin d'identifier l'existence ou non d'une différence significative entre les hommes et les femmes de l'échantillon.

### 5.5.2.1 Test de Shapiro-Wilk



Les données traitées sont celles des **questions 2, 4 et 5**.



Les **63** répondants admissibles à la recherche sont considérés.



L'hypothèse nulle est :  $H_0 : X_i \approx N(\mu, \sigma^2)$

Tableau 5-9 : Tableau des résultats du test de Shapiro-Wilk : indice de masse corporel

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Moyenne ( $\mu$ )	25,51	23,92
Somme des écarts à la moyenne ( $S^2$ )	742,12	320,53
$k$	23	8
Estimateur de la variance ( $b^2$ )	700,92	291,92
$W$	<b>0,911</b>	<b>0,944</b>
$W_{0,05}$	<b>0,945</b>	<b>0,892</b>

La valeur de  $W$  étant inférieure à celle de  $W_{0,05}$  pour les hommes, l'hypothèse nulle est rejetée. La distribution de l'échantillon des hommes ne suit pas la distribution gaussienne issue de la loi normale. Cependant, pour les femmes, la valeur de  $W$  est supérieure à celle de  $W_{0,05}$ . L'hypothèse nulle est acceptée avec un risque de première erreur de 5%. Comme les résultats de chaque genre ne concluent pas tous les deux à l'acceptation de l'hypothèse nulle, le test t de Student ne peut être appliqué sans avoir un risque d'erreur dans le p value. **Le test U de Mann-Whitney** est donc développé pour évaluer l'existence d'une différence significative dans l'échantillon de répondants entre les genres pour l'indice de masse corporelle.

### 5.5.2.2 Test U de Mann-Whitney



L'hypothèse nulle est : il n'y a pas de différence entre les genres

Tableau 5-10 : Tableau des résultats issus du test U de Mann-Whitney pour l'IMC

Paramètre	Échantillon hommes	Échantillon femmes
Taille du groupe	46	17
Somme des rangs	1568,5	447,5
Valeur U	487,5	294,5
Valeur $\mu_U$	391	
Valeur $\sigma_U$	64,58	
Valeur z	-1,494	
Valeur p correspondante	<b>0,135</b>	

La valeur p étant supérieure au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ , l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. **Il n'y a donc pas de différence significative entre les genres pour l'indice de masse corporel de l'échantillon.**

## 5.6 Synthèse des résultats

En guise de conclusion, cette section propose une synthèse des résultats issus des tests statistiques pour chaque variable testée. Elle reprend les grandes lignes des résultats détaillés.

### 5.6.1 Le niveau de sensation thermique exprimé

Les distributions des échantillons des hommes et des femmes ne s'apparentent pas à celle d'une loi normale. La différence entre les genres s'est avérée significative à la suite du test de Mann-Whitney. L'ampleur de l'effet est qualifiée de moyenne pour l'échantillon avec le d de Cohen.

### 5.6.2 Le niveau de confort thermique exprimé

Les distributions des échantillons des hommes et des femmes ne s'apparentent pas à celle d'une loi normale. La différence entre les genres ne s'est pas avérée significative à la suite du test de Mann-Whitney.

### 5.6.3 Le niveau de satisfaction thermique exprimé

La distribution de l'échantillon des hommes ne s'apparente pas à celle d'une loi normale. Celle de l'échantillon des femmes par contre est proche de la distribution normale. La différence entre les genres ne s'est pas avérée significative à la suite du test de Mann-Whitney.

### 5.6.4 L'habillement

La distribution de l'échantillon des hommes ne s'apparente pas à celle d'une loi normale. Celle de l'échantillon des femmes par contre est proche de la distribution normale. La différence entre les genres s'est avérée significative à la suite du test de Mann-Whitney. L'ampleur de l'effet est qualifiée de moyenne pour l'échantillon avec le d de Cohen.

### 5.6.5 L'indice de masse corporel

La distribution de l'échantillon des hommes ne s'apparente pas à celle d'une loi normale. Celle de l'échantillon des femmes par contre est proche de la distribution normale. La différence entre les genres ne s'est pas avérée significative à la suite du test de Mann-Whitney.

## 6 Discussion

### 6.1 Introduction

Ce chapitre est destiné à la discussion des résultats présentés dans les chapitres 0 et 0. Il propose l'interprétation par l'analyse de la signification des résultats sous un angle critique de la méthodologie appliquée. Il permet aussi de répondre concrètement à la question de recherche principale rappelée au point 6.2 ainsi qu'aux sous-questions de recherche. Les deux chapitres de résultats sont discutés dans la partie dédiée aux constatations et recommandations pour le lecteur (0). Le travail de recherche est critiqué objectivement sur ses forces et faiblesses au regard de la méthodologie, de sa pertinence vis-à-vis des connaissances existantes et de la validité des constats tirés (6.4). Enfin, le chapitre aborde les impacts de cette recherche pour de futurs travaux scientifiques potentiels ainsi que les recommandations à suivre pour poursuivre la démarche entamée dans ce travail (6.5).

### 6.2 Rappel de l'objet de l'étude

La question de recherche principale est abordée sous cinq sous-questions de recherche. Elles apportent progressivement des éléments conclusifs de la question posée. Elles sont rappelées ci-dessous :

**Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?**

1. Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?
2. Quels sont les profils d'usagers interrogés au sein du bâtiment ?
3. Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?
4. Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?
5. Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

Pour rappel, l'objectif de cette étude est d'analyser grâce à un échantillon de répondants si les enquêtes qualitatives issues de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) doivent être davantage inclusives des caractéristiques intrinsèques au genre pour l'analyse du bien-être thermique des individus. Pour ce faire, l'étude évalue s'il existe ou non une différence significative des variables liées au confort thermique entre les hommes et les femmes. Elle observe également d'autres caractéristiques métaboliques des répondants et vise à observer les variables qui présentent un lien potentiel au confort thermique et au genre.

## 6.3 Constatations et recommandations

Cette partie de la discussion reprend les constats des résultats présentés précédemment et les recommandations à suivre dans la pratique. Ce sont d'abord les résultats issus du chapitre 0 qui sont analysés (6.3.1) puis ceux du chapitre 0 qui sont discutés (6.3.2).

### 6.3.1 Les résultats des données récoltées

Tout d'abord, les **taux d'humidité** récoltés par le Testo 80 de la Figure 4-2 sont tous compris dans l'intervalle de faible influence sur le confort thermique (entre 30 et 70%) (Roulet, 2008). Les valeurs des **températures opératives** inférieures aux températures intérieures reflètent les pertes par rayonnement dues au mur vitré à proximité de la sonde. Les **températures intérieures de l'air** sont toutes supérieures à celle indiquée dans le cadre légal (18°C). (Article V.1-1 du Code du bien-être au travail, 2017). Concernant la **vitesse de l'air**, elle est quasi constante sur toute la durée de l'étude approchant fortement la valeur idéale de 0,13m/s en période hivernale. (Energie plus, 2007) Elle est donc optimale à la garantie d'un bon confort thermique théorique des employés. On peut donc conclure que seules les températures relevées jouent donc un rôle significatif dans le confort thermique des sujets de l'étude.

Ensuite, la **répartition des hommes et des femmes** de l'échantillon présentée à la Figure 4-4 indique un manque de représentativité des femmes dans l'étude (27%). Le nombre de participantes (17 sur 63) a limité l'analyse des résultats possibles puisque les questions 43 à 49 du questionnaire ont été exclues de la recherche. Il aurait fallu avoir 20 répondantes pour pouvoir effectuer des tests statistiques recevables. Il est donc vivement recommandé de s'assurer d'avoir un maximum de femmes dans l'échantillon en visant un taux de 50% et de bien choisir préalablement le lieu d'étude selon la proportion des hommes et de femmes qui y sont présents. Les questions exclues sont à tester à l'aide de tests paramétriques sur des échantillons de plus de 20 femmes afin de pouvoir tirer des conclusions sur leur valeur ajoutée. Dans cette étude malheureusement aucune conclusion ne peut être déduite de ces questions.

La **distribution de l'âge** des répondants présentée à la Figure 4-6 amène un facteur d'hétérogénéité du groupe. Les répondants sont distribués sur plusieurs tranches d'âge, mais ils manquent de représentativité au-delà de 61 ans. Les avis divergent dans la littérature scientifique sur l'impact de l'âge dans le confort thermique. Par exemple, selon Roulet (2008) il a été suffisamment prouvé dans les recherches scientifiques que **l'âge n'est pas un facteur significatif** du confort thermique. Par contre l'étude de Kim et al. (2013), les résultats indiquent une probabilité d'insatisfaction thermique des femmes supérieures à celles des hommes pour des âges inférieurs ou égaux à 30 ans. De plus, selon la recherche de Young (1991), **les hommes vieillissants** auraient tendance à avoir besoin de températures plus élevées que les hommes jeunes contrairement aux **femmes vieillissantes**. Ceci serait dû à une diminution des performances physiologique du corps à réguler la température interne dans les environnements frais. (Young, 1991) Une autre étude conclut à la satisfaction thermique plus élevée des **personnes âgées de plus de 40 ans** en

période hivernale que ceux de moins de 40 ans. (Choi et al., 2010) Il est prudent d'envisager une étude approfondie de cette variable sur le genre avant de pouvoir rejeter l'hypothèse de son impact dans le confort thermique de l'échantillon.

La répartition des répondants à **proximité d'une fenêtre/mur extérieur** ou non donnent des résultats qui sont importants dans la variable de la **température opérative**. Les personnes à moins de 5 m d'une fenêtre ou paroi extérieure n'ont pas le même impact des **pertes par rayonnement** que ceux à plus de 5 m. Ce paramètre est très important dans l'utilisation des valeurs mesurées par la sonde pour calculer le **PMV** de chaque répondant. Une erreur est faite pour les personnes situées à plus de 5 m d'une fenêtre ou paroi extérieure puisque la sonde a relevé la température opérative uniquement à moins de 5 m de ces parois. Il est recommandé dans ce genre de cas :

- Soit de **centrer** tous les répondants autour de la sonde à plus ou moins 5 m d'une paroi extérieure ;
- Soit de disposer de **deux sondes** de la température opérative placée en cohérence avec les positions de placement des répondants.

Les **valeurs des habillements** sont issues du calcul cumulatif de la grille à cocher complétée à la question 25 du questionnaire. Les valeurs de clo attribuées à chaque pièce sont basées sur celles fournies dans l'ISO 7730 (2005). Cependant la Figure 4-8 montre que seuls 27% des répondants sont vêtus au moins selon le clo typique de tenue hivernale (environ 1 clo). Une autre interprétation de ces résultats est celle de la période climatique particulièrement **douce** au moment de la réalisation de la recherche. Les températures extérieures n'étaient **pas représentatives** d'une période hivernale. (MIEVIS, 2024) Par conséquent, il est possible que les répondants se soient juste adaptés aux températures extérieures. Pour les questionnaires aux erreurs évidentes, un ajout d'un **critère de recevabilité** pour la question 25 est conseillé. Les questionnaires aux réponses peu probables pour cette question devraient être retirés de l'analyse. Cependant, la valeur de l'habillement reste nécessaire au calcul du PMV pour chaque répondant. Par conséquent, une solution sera d'attribuer une valeur de l'habillement par défaut cohérente avec les températures extérieures du moment. Cependant, on rappelle la recommandation de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) de ne pas généraliser la valeur d'habillement des individus à une valeur approximative si des variations de plus de 0,15 clo entre individus sont observés.

Le **temps d'occupation dans l'espace** propre à chaque répondant (cf . Figure A.7 - 3) montre une distribution de l'échantillon non négligeable en-dehors de l'intervalle qui correspond approximativement à un temps plein (entre 35 et 40 heures). Au total, 51,6 % des répondants sont répartis en-dehors de cet intervalle. Il serait pertinent d'évaluer si le temps passé dans l'espace **impacte ou non la perception** de l'espace dans la satisfaction du confort thermique. Cette recommandation sort de l'objet de l'étude ici. Cependant, la même méthodologie pourrait s'appliquer pour vérifier l'existence d'une différence significative ou non du confort thermique selon le temps hebdomadaire passé dans l'espace.

Les **niveaux de sensation thermique** illustrés à la Figure 4-12 mettent en évidence une répartition des sujets principalement en-dehors des deux extrêmes proposés sur l'échelle de Likert. En réalité, **81% des sujets** ont exprimé une sensation thermique acceptable de l'environnement (de « légèrement frais » à « légèrement chaud »). Cette observation permet de conduire à **l'acceptabilité des paramètres hygrothermiques de l'open-space** selon les sujets testés. De plus, certaines femmes ont exprimé avoir chaud tandis que d'autres ont eu légèrement froid à ce moment-là. Cette observation permet de contredire la **stigmatisation** opérée sur les femmes souvent qualifiées de « frileuses ». Pour un même environnement thermique, une femme ne ressent pas la même chose qu'une autre.

Concernant les **niveaux de confort thermique** illustrés à la Figure 4-13, on pourrait s'attendre à une distribution très semblable de celle de la sensation thermique. Pourtant, le confort thermique s'exprime davantage vers l'extrême « très confortable » que la sensation thermique vers l'extrême « chaud étouffant ». Seuls 6,3% des sujets expriment un **inconfort non acceptable**. Partant du principe que le maximal de personnes pouvant être satisfaites est de 95%, l'environnement thermique est de bonne qualité pour les employés puisqu'il satisfait dans les valeurs acceptables **93,7% de l'échantillon**. Au contraire des hommes, les femmes se sont positionnées davantage que les hommes dans leur niveau de confort thermique. Le niveau « neutre » n'est pas significatif pour elles.

Le **niveau de satisfaction** à la température de l'air suit davantage la distribution du niveau de confort thermique que celle de la sensation thermique. Ici, 12,7% de l'échantillon exprime un niveau de **satisfaction de la température de l'air non acceptable**. L'environnement thermique est donc **moins qualitatif** du point de vue de la température de l'air que du confort thermique. Pour rappel, les conclusions tirées au premier paragraphe discutent de **l'impact majeur de la température** dans ce cas sur le confort des employés ces conclusions conduisent à penser que la cause de davantage d'insatisfaits pour la satisfaction de la température de l'air que pour le confort thermique serait due à **l'importance de la variable de la température** dans l'équation du confort thermique. Cette piste de réflexion est cependant à vérifier rigoureusement à l'aide d'outils scientifiques et non transposable à d'autres études. L'importance des paramètres de l'open-space sur l'équation du confort thermique est à analyser **au cas par cas** pour chaque étude.

En général, au regard des niveaux de satisfaction, sensation et confort thermique exprimés, les **techniques** du bâtiment fournissent des conditions d'ambiances thermiques de l'open space acceptables. L'impact des baies vitrées semble être faible sur les sensations thermiques des employés. Les répondants qui s'expriment dans les niveaux extrêmes à connotation négative sont une minorité. On peut conclure que l'espace est bien régulé au vu des contraintes d'un open space de cette ampleur. Les techniques en place contribuent positivement à favoriser un bon confort thermique de l'employé (cf. section 3.5)

Le **PMV** précis de chaque répondant est calculé grâce à l'outil de Tartarini et al., (2020). Le modèle semble refléter l'avis des répondants quant à leur sensations thermiques puisque **le modèle prédit 73 %** des répondants compris dans les sensations thermiques acceptables contre **81% des répondants** qui ont réellement

exprimé des taux de sensations thermiques acceptables. Les **8% d'écart** illustrent les biais du modèle de Fanger déjà énoncé plus tôt. (cf. 2.1.3). L'étude réalisée par Charles, (2003) questionne la validité du modèle proposé. Elle indique que le modèle de prédiction du PMV n'est pas toujours un bon prédicteur des sensations thermiques. Elle précise en particulier le cas des études in situ. La critique porte sur les biais liés à **l'obtention des valeurs exactes de l'habillement et de l'activité métabolique**. Si elles sont estimées, il y a plus de chances d'obtenir une mauvaise précision des estimations des sensations thermiques prédites. Comme énoncé plus tôt dans ce chapitre, l'évaluation personnalisée de l'habillement de chaque répondant se base sur une volonté d'estimer le mieux possible la réalité, mais engage tout de même à de potentielles erreurs communiquées par le répondant.

Le **test des affirmations** a pour objectif de discuter des avis de l'échantillon sur des stigmatisations associées au confort thermique. Les fréquences représentées à la Figure 4-16 permet de discuter d'une observation particulièrement intéressante. Deux affirmations n'intègrent **aucune notion liée au genre**. Pour ces affirmations, les répondants se sont **davantage prononcés** que pour les celles liées au préjugés des genres. On ne peut pas conclure rigoureusement d'un tabou sociétal lié au genre. Pour cela, il faudrait réaliser une étude comportementale à grande échelle. Cependant, les résultats montrent une **réticence de l'échantillon** à donner **un avis sur les sensations thermiques des genres**. Dans la littérature, certains recommandent de ne pas mettre de **champ d'évitement** dans les réponses possibles. (Debaty, 1967) Pour cette étude, le champ « je ne souhaite pas répondre » a été jugé pertinent dans la phase de l'enquête pilote dans l'étude puisqu'il laisse la **possibilité d'expression de l'évitement** sur des stigmatisations sociétales. Il reste un résultat en soi intéressant à analyser. Si les seuls champs de réponses avaient été « je suis d'accord » et « je ne suis pas d'accord », le risque d'avoir des questions sans réponses serait accru pouvant mener à une frustration de se sentir obliger de répondre. Ici, les répondants étaient donc **libres de ne pas donner de position** ce qui a permis d'avoir 62 questionnaires admissibles sur 63.

### 6.3.2 Les résultats des tests statistiques

Pour rappel dans cette partie des résultats (chapitre 5), chaque variable a d'abord été testée selon le test de Shapiro-Wilk afin de vérifier l'hypothèse de normalité faite pour l'utilisation du test t de Student. Pour chaque variable, les courbes de distribution des fréquences issues des mêmes données que les histogrammes présentés aux Figure 4-12 ; Figure 4-13 Figure 4-14 sont tracées afin de les comparer aux distributions normales.

Pour la variable de la sensation thermique, le test de Shapiro-Wilk conclut au rejet de l'hypothèse nulle pour les hommes et les femmes. Les graphiques de la Figure 6-1 montrent des courbes de distribution réelle des échantillons au regard des courbes de distribution normale de la population correspondante. Elles évoluent pour les deux sexes avec une cassure de la progression créant ainsi deux sommets aux valeurs des deux fréquences les plus élevées. Ceci montre la pertinence des résultats issus du test de Shapiro puisque pour une courbe issue d'une distribution normale, il n'y a qu'un seul point haut situé à l'abscisse de la moyenne de la variable. Ceci est dû

au manque de répondants dans les catégories 5 et 2. Pour pouvoir faire l'hypothèse d'une approximation de l'échantillon avec une loi de distribution normale, il faut un échantillon réparti le plus symétriquement possible autour du point central (soit la moyenne).

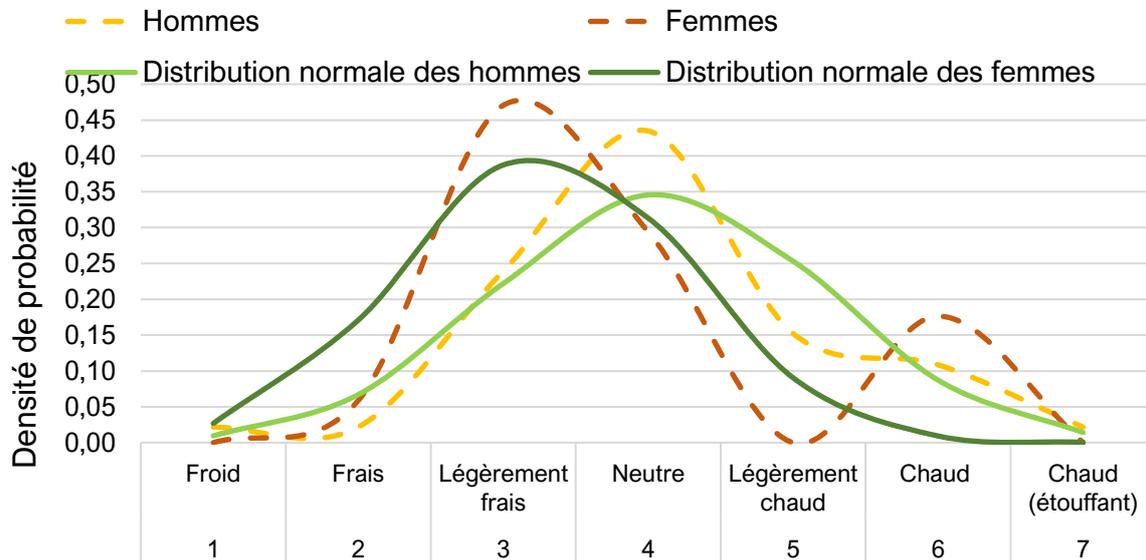


Figure 6-1 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de sensation thermique

La Figure 6-2 reprend les mêmes modalités d'expression que la précédente pour la variable du confort thermique cette fois. On y observe à nouveau sur les courbes des courbes à la progression ralentie brutalement créant ainsi au moins deux sommets. Ceci est dû comme pour la précédente variable à une mauvaise représentativité dans les catégories « neutre » pour les femmes et « juste inconfortable/confortable » pour les hommes. La conclusion du test de Shapiro-Wilk pour cette variable était le rejet de l'hypothèse nulle ce qui paraît cohérent au vu des courbes de normalité représentées ci-dessous bien éloignées du comportement des courbes réelles des échantillons. On remarque aussi la proximité des courbes de normalité des hommes et des femmes. La différence entre les échantillons est faible pour une distribution normale.

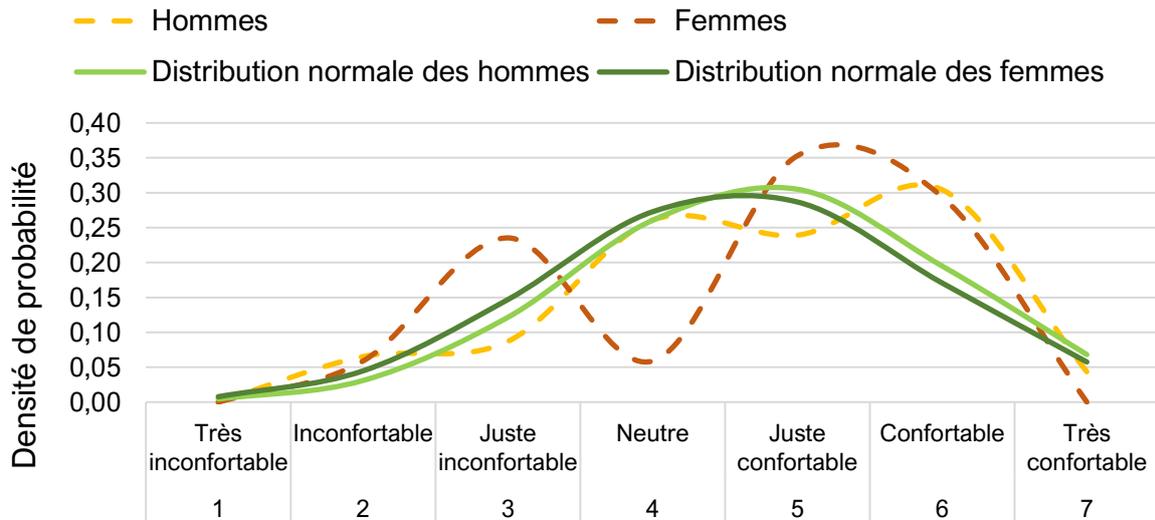


Figure 6-2 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de confort thermique

De la même façon, les résultats issus de la satisfaction thermique exprimée sont comparés aux distribution normales. Pour cette variable, la conclusion du test de Shapiro-Wilk est le rejet de l'hypothèse nulle pour les hommes et son acceptation pour les femmes. Ceci paraît étonnant au vu des allures des courbes propres à l'échantillon des femmes qui illustrent un manque de représentativité des femmes dans la catégorie « neutre ». Les résultats du test donnent une piste de réflexion. Pour rappel, les valeurs permettant de conclure à l'acceptation de l'hypothèse nulle sont de :  $W = 0,896 > W_{0,05} = 0,892$ . La valeur de  $W$  est en réalité très légèrement supérieur à  $W_{0,05}$ . Cela pourrait expliquer pourquoi le test accepte l'hypothèse nulle pour cette variable et pas pour les autres. De plus, le risque de première espèce est de 5% pour chaque variable testée, cela signifie qu'il y a 5% de probabilité de rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie. Le résultat issu du test signifie que malgré des variations dues aux fréquences minimales dans certaines catégories, il est possible que les courbes s'apparentent suffisamment au courbe de distribution normale. Il faut noter que les tests étant réalisés manuellement à l'aide d'Excel, des erreurs ne sont pas exclues. En réalité, cette observation est peut impactante puisque le test t de Student n'a pas été exploité ici, car le résultat de l'échantillon des hommes rejette l'hypothèse nulle. Les hypothèses d'application du test de Mann-Whitney sont donc respectées dans tous les cas.

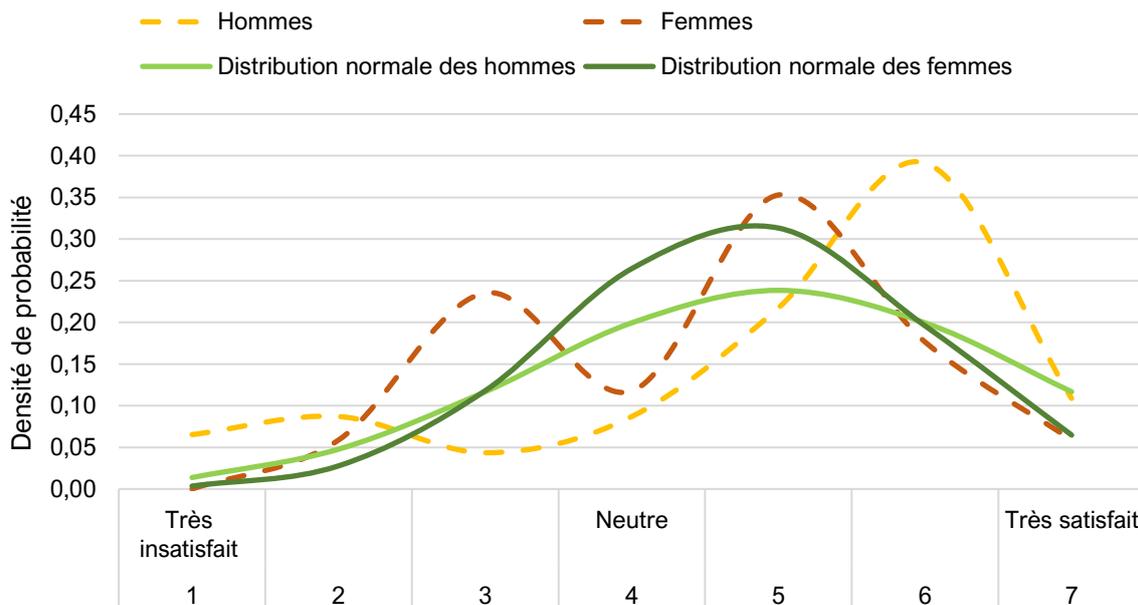


Figure 6-3 : Distribution des échantillons homme femmes comparées à la distribution normale pour la variable de satisfaction thermique

Au final, chacune des variables a été testée avec le test de U de Mann-Whitney. Les seules variables qui ont présenté un résultat favorable à cette différence sont la sensation thermique et l'habillement. Pour les deux, l'ampleur de l'effet s'est avérée moyenne à l'aide du test d de Cohen. Une des raisons possibles de cette différence dans la variable de la sensation thermique est justement l'habillement. Effectivement, l'échantillon est impacté par une différence significative entre les genres dans l'une des variables primaires de l'équation du confort thermique. Cette observation est importante. Certaines recherches concluent à des résultats semblables. Les études de Han et al. (2007) et Donnini et al. (1997) attribuent une part des causes de la différence significative du confort thermique entre les genres à l'habillement. De plus, dans l'étude de Kim et al. (2013) Plusieurs paramètres de qualité de l'environnement intérieur ont été testés et ont montré une tendance générale des femmes à être plus critiques que les hommes sur la qualité de leur environnement. Une autre piste de réflexion est proposée par Fanger (1970), les femmes seraient plus enclines à apprécier des environnements chauds que les hommes. Ceci ne doit pas engager à une stigmatisation des femmes, mais à poursuivre des recherches sur de plus grands échantillons.

Une question persiste. Pourquoi une différence n'apparaît-elle pas pour les deux autres variables testées, soient le confort thermique et la satisfaction thermique ? Les résultats des variables testées sont intrinsèquement liés à la part de subjectivité de la compréhension individuelle de chaque terme utilisé. Pour certains, la sensation thermique et le niveau de confort thermique sont la même chose. C'est le constat fait à la suite de commentaires des répondants attribués à la chercheuse. Pour d'autres la différence entre les deux est claire. Pour réduire l'erreur liée à la mauvaise compréhension des variables, il est recommandé de disposer des définitions claires et concises pour les questions interprétables sous de multiples points de vue.

Cependant, pour cet échantillon, les variables sont tout de même distribuées différemment ce qui conduit à penser que la majorité des réponses ne sont pas biaisées. Il paraît donc cohérent que des variables ne portant pas sur les mêmes caractéristiques inhérentes du confort thermique ne donnent pas les mêmes résultats. Par exemple, avoir froid (sensation thermique) ne signifie pas que l'environnement est inconfortable (niveau de confort thermique) pour la personne. La sensation thermique est engagée par les paramètres subjectifs individuels. La personne peut être simplement plus sensible à son environnement thermique ou habillée trop légèrement. Au final, un simple ajustement de l'habillement peut mener à une diminution de la différence entre les genres observée. (Maykot et al., 2018) Une autre explication de la différence entre les genres est la thermorégulation des corps. Les femmes auraient plus de pertes corporelles de chaleur à cause d'un rapport surface corporelle/masse corporelle supérieure à celui de l'homme. La surface d'échange étant plus importante, elles sont davantage sujettes à des pertes de chaleur par régulation du bilan thermique avec l'environnement que les hommes. (Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001)

De plus, l'article de Klein et al. (2015) invite à être prudent quant aux résultats statistiques. Il engage à justifier la pertinence d'étudier davantage la différence entre les genres en fonction de la taille d'effet. Si elle est faible ( $d$  de Cohen  $< 0,2$ ), il indique qu'il n'est pas forcément pertinent d'aller plus loin dans l'analyse des observations. Pour les deux variables aux résultats favorables à une différence significative, le  $d$  de Cohen indique une taille de l'effet moyenne. On pourrait donc envisager d'aller plus loin dans la méthodologie proposée et d'effectuer l'étude approfondie de la valeur ajoutée des questions posées pour l'enquête standardisée. Cependant, les résultats des deux autres variables testées (confort et satisfaction thermiques) ne sont pas favorables à l'ajout de questions supplémentaires.

De manière générale, même si les résultats ne sont pas toujours significatifs d'une différence entre les genres pour l'échantillon, il est envisageable qu'il y en ait une dans la population. La taille de l'échantillon ne permet pas d'affirmer ceci. De plus, plusieurs paramètres ont un poids fort dans les résultats statistiques comme la proportion des hommes et des femmes dans l'échantillon. Les femmes sont ici mal représentées. Le groupe des répondants consentant est aussi une variable importante, si d'autres personnes avaient été présentes et consentantes, les résultats n'auraient peut-être pas été les mêmes.

Au regard des niveaux de satisfaction, sensation et confort thermique exprimés, les techniques du bâtiment fournissent des conditions d'ambiances thermique de l'open space acceptables. L'impact des baies vitrées semblent être faible sur les sensations thermiques des employés. Les répondants qui s'expriment dans les niveaux extrêmes à connotation négatives sont une minorité. On peut conclure que l'espace est bien régulé au vu des contraintes d'un open space de cette ampleur.

## 6.4 Forces et limites

Cette section présente les forces et limites de l'étude sous l'analyse de sa pertinence, de la valeur ajoutée du travail dans le monde scientifique, sa validité et son inscription dans la lignée des recherches existantes.

### 6.4.1 Forces de l'étude

Tout d'abord, la question de recherche posée interroge une lacune dans les connaissances. Les recherches actuelles interrogent l'existence d'une différence entre les genres, mais elles ne proposent pas l'intégration d'une remise en cause des questionnaires standardisés et intrinsèquement des variables questionnées dans les études. Certaines recherches proposent leur propre questionnaire sans pour autant envisager la révision d'un modèle pour en améliorer la qualité intégrative des caractéristiques inhérentes au genre.

Ensuite, la méthodologie proposée possède une structuration assurant la reproductibilité de l'étude. Elle permet également de fournir les interprétations nécessaires des résultats pour répondre à la question de recherche posée. La partie traitement et analyse des données propose une démarche statistique qui justifie rigoureusement le choix des tests statistiques posés. Les hypothèses des tests sont vérifiées pour ne pas commettre d'erreurs dans l'interprétation de résultats falsifiés.

La reproductibilité de la méthodologie est vraie pour le sujet de la recherche, mais pas uniquement. Elle propose globalement un outil d'évaluation d'une différence significative entre deux variables dans l'évaluation du confort thermique. Il s'agit d'une force puisqu'on pourrait étendre la recherche à d'autres objectifs. Par exemple, l'impact de la digestion sur le confort thermique ou encore l'impact des troubles du sommeil sur les sensations thermiques peuvent être évalués exactement de la même façon que l'impact du genre dans le cas de cette étude. Les variables doivent tout de même respecter les conditions d'application des tests statistiques proposés ici.

La méthodologie permet aussi de mesurer toutes les variables de la problématique énoncée à l'aide des bons outils présentés. Aucune variable n'est supposée. Elles se basent toutes sur la récolte des données primaires et secondaires à l'établissement de leurs valeurs. Le Testo 480 utilisé est conforme aux intervalles et degrés de précision exigés par l'ANSI/ASHRAE Standard 552020). De plus, les indications de la norme ISO 7726 (1998) pour les thermomètres à globes sont très claires. L'utilisation d'un globe de 15 cm de diamètre est fortement recommandée pour avoir une précision suffisante des mesures récoltées. Les sondes du Testo 480 utilisé dans cette recherche possèdent toutes les caractéristiques d'outils valides et fiables introduits dans les normes ISO 7726 (1998) et ISO 7243 (2017). La qualité des données primaires utilisées dans le calcul du PMV est donc assurée.

La taille de l'échantillon contraint énormément les résultats que l'on peut tirer de l'étude. Cependant, toutes les démarches ont été mises en place pour optimiser le nombre de répondants consentant les deux jours de soumission de l'enquête. Le premier jour un message explicatif de l'étude a été diffusé à l'ensemble de l'équipe via des haut-parleurs de l'open-space pour aider la chercheuse à obtenir un maximum de personnes consentantes. Un message a également été diffusé sur la plateforme de communication de l'équipe prévenant à l'avance l'ensemble du bureau de la mise en place de l'étude. De plus, absolument toutes les personnes présentes et disponibles, admissibles à la recherche et disposées à l'étage du Testo 480 ont été sollicitées pour leur participation.

Il est important de préciser que certaines études font l'hypothèse de rejet des questionnaires selon certaines de ces variables. Par exemple, dans l'article de Du et al. (2023), les répondants ont reçu comme instruction préalable de ne pas boire de café, d'alcool ou de ne pas faire d'activité sportive avant l'enquête. Un autre exemple est donné dans l'article de Seyedrezaei et al. (2023), cette étude rejette toute personne ayant une déficience visuelle, sujette à daltonisme, enceinte, ayant une maladie cardiaque, blessée au poignet ou à la main, ou encore extrêmement sensible à la lumière, la température et au bruit. Cette étude vise l'ensemble des facteurs de qualité d'un environnement intérieure. Certaines exclusions ne sont donc pas pertinentes pour dans le cas de l'évaluation du confort thermique. L'article de Li et al. (2023) exige une bonne santé, un taux faible en caféine, pas d'activité sportive intense réalisée avant l'expérience comme conditions d'acceptation des sujets. Il convient au chercheur d'établir les paramètres acceptés ou non. Dans cette étude, l'objectif était de tester un maximum de variables à l'impact potentiel sur le confort thermique selon les sexes des répondants. Effectivement, l'étude vise également à déterminer les variables impactantes sur les sensations thermiques selon que l'on soit un homme ou une femme. Aucune des exclusions mentionnées ci-dessus n'est donc appliquée et ceci est perçu comme une force de l'étude.

#### 6.4.2 Limites de l'étude

La qualification du mouvement d'air sur une échelle de Likert est utilisée dans l'article scientifique de (Sakellaris et al., 2016). Pour cette étude, cette variable n'a pas été directement questionnée alors qu'elle a fait l'objet de nombreux retours écrits sur les questionnaires. Il serait pertinent d'ajouter une échelle de Likert propre à l'évaluation de la satisfaction du mouvement d'air. De plus, l'atrium est un élément particulier du lieu étudié puisqu'il prend place sur une double hauteur. Il sépare la zone de positionnement des répondants (cf. Figure 3-9) en deux, or il n'est pas pris en compte dans les calculs du PMV puisque l'étude est réalisée à l'aide d'une seule sonde. Il aurait fallu disposer d'au moins une sonde supplémentaire pour la partie correspondant à la structure la plus ancienne du bâtiment.

La qualité de certaines questions ajoutées de l'enquête souffre d'un manque d'expertise et de recul sur la formulation et la pertinence de leurs ajouts. La phase de l'enquête pilote aurait dû intégrer davantage d'experts de mise en place d'enquête pour pouvoir tirer profit de toutes les données par le biais des tests statistiques. Des experts de la santé doivent impérativement vérifier la validité des questions posées.

La hauteur de disposition de la sonde ne remplit pas les conditions exigées par ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) créant ainsi un biais dans les mesures prises pour le calcul du PMV des répondants. Ceci est dû aux contraintes pratiques de l'open-space. Un parcours a été réalisé avant son installation pour déterminer le meilleur emplacement possible sans gêner le personnel d'entretien et les employés avec une prise à proximité. Ceci a conduit à accepter des hauteurs de positionnement des sondes supérieures à celles recommandées. La disposition de la sonde entraîne également une mauvaise représentativité des températures opératives des personnes situées à plus de 5 m d'un mur extérieur ou d'une fenêtre.

La mesure de l'habillement est basée sur les habits cochés à la question 25. La confiance est attribuée aux répondants, mais des erreurs sont très probables. Ces potentielles erreurs expliqueraient les valeurs particulièrement faibles de l'habillement recensées pour 73% de l'échantillon. Certains questionnaires semblent faux (absence de chaussures par exemple), mais la chercheuse ne possède pas de moyen de vérifier les habits réellement portés ce jour-là. Il y a donc une marge d'erreur liée à cette variable primaire du confort thermique.

La variable « indice de masse corporelle » de chaque participant n'a pas montré de différence significative entre les genres à la suite du test de Mann-Whitney. Par contre, certaines études cherchent à identifier le potentiel impact de l'IMC sur le confort thermique. Il pourrait être intéressant de réaliser une analyse approfondie de cette variable sur le confort thermique. L'étude de Tuomaala et al. (2013) explique que l'indice de masse corporelle est directement lié à la répartition des graisses du corps. Cette composante impacte le taux métabolique, mais l'application du modèle développé pour la détermination des sensations thermiques n'a pas montré d'impact significatif de l'IMC sur les sensations thermiques. Cependant, pour cette étude il existe tout de même une différence entre les genres. Les femmes de même IMC que les hommes possèdent des niveaux de sensations thermiques inférieurs. (Tuomaala et al., 2013) Il est recommandé d'analyser pour l'échantillon de chaque recherche la significativité de l'impact de l'IMC sur le confort thermique.

Pour l'échantillon de l'étude, les facteurs de sommeil, d'activité sportive, de digestion et de tabagisme n'ont pas été évalués dans leur lien au genre et au confort thermique par manque de représentativité entre les genres (section 4.3.7). La prise en compte de ces facteurs selon le genre revient à subdiviser une nouvelle fois l'échantillon donnant alors quatre catégories statistiques par exemple pour le tabagisme (femmes fumeuses, femmes non-fumeuses, hommes fumeurs, hommes non-fumeurs). Les femmes étant déjà peu représentées dans l'échantillon, il n'est pas pertinent de subdiviser une nouvelle fois les catégories, car les tests statistiques exigent d'avoir un minimum de répondants pour être applicables. Il est donc recommandé pour tester si ces variables ont réellement un impact ou non dans le confort thermique propre à chaque sexe d'obtenir un échantillon plus large. L'idéal est d'avoir 50% de femmes et 50% d'hommes pour lesquels il y a au moins 20 répondants dans chaque subdivision des variables.

L'encodage des données issues des questionnaires en version papier a été réalisé manuellement. Malgré deux relectures des données encodées, des erreurs peuvent subsister. L'utilisation d'un questionnaire informatisé permet de résoudre ce problème. Cependant, les taux de réponses aux questionnaires en version papier sont plus élevés que ceux en version informatisée. Les données sont traitées à l'aide du produit Excel de Microsoft Office. Ce logiciel n'est le plus couramment utilisé pour le traitement statistique des données. D'autres sont plus rigoureux, on cite par exemple le logiciel R, SAS, ou encore Statistica. (Dagnelie, 2013) On admet donc une erreur possible due à l'encodage manuel des données et à l'application des tests statistiques sur ce logiciel.

Pour pouvoir opérer une analyse approfondie des questions complémentaires ajoutées par la chercheuse, les résultats statistiques doivent être significatifs et représentatifs de la population étudiée. Ce n'est pas le cas de cette recherche puisque faire une telle hypothèse implique une marge d'erreur de 12% ce qui est très élevé. On accepte en général une marge d'erreur de maximum 5% pour poser cette hypothèse. Il n'est donc pas pertinent ici d'approfondir l'analyse du questionnaire sans être certains de la différence des genres dans la population. De plus, les questions les plus inclusives d'une prise en compte des caractéristiques biologiques des femmes n'ont pu être testées à cause du très faible taux de réponses et participation à ces questions. Il est donc vivement recommandé de poursuivre la recherche sur un échantillon plus grand ou plus représentatif des femmes (viser 50%) pour pouvoir analyser les résultats et tirer des conclusions statistiquement acceptables sur la population.

De plus, de nombreuses questions n'ont pas été analysées par manque de pertinence vis-à-vis du sujet de recherche recalibré et en cause d'une mauvaise formulation des questions (réponses biaisées). Pour rappel, elles sont disposées au Tableau 3-3. Il est recommandé de minimiser davantage les variables testées et de ne considérer que les plus pertinentes pour la question de recherche de l'étude. Ici, une meilleure analyse de la pertinence des questions ajoutées et de la qualité de la formulation aurait dû être opérée lors de la phase pilote pour réduire le temps de complétude de l'enquête et pour réduire la durée nécessaire à l'encodage et au traitement des données.

Pour ce travail, des gynécologues ont été contactés ainsi que des psychologues (cliniques et du bien-être au travail), mais les modalités pratiques n'ont pas rendu possible la discussion du sujet de l'étude avec tous les experts contactés. Il est donc crucial de réaliser une vérification scientifique des ajouts proposés ici dans le questionnaire. La formation de base de la chercheuse ne porte pas sur le monde médical. Il s'agit d'une limite dont il faut avoir conscience si le questionnaire était une source d'inspiration pour la poursuite éventuelle du travail.

## **6.5 Implications sur la pratique et les travaux futurs**

Cette étude entame la discussion de la validité des enquêtes standardisées de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Les conclusions de ce travail mènent à ne pas opérer d'ajouts dans les enquêtes actuelles par manque de données probantes à des résultats significatifs. Cependant, il est conseillé de réaliser la méthodologie proposée à un échantillon plus large en vue de vérifier la significativité de la différence des genres dans la population. La limite de cette proposition est la taille des open-spaces. Il est complexe de trouver des open-spaces contenant 369 personnes à interroger (nombre de répondants nécessaires en Belgique pour avoir une marge d'erreur tolérée de 5% : cf. section 3.9). Plusieurs recommandations permettent tout de même d'opérer la méthodologie selon quelques adaptations.

Une première option serait de préalablement tester l'enquête standardisée non modifiée sous forme expérimentale en plaçant les répondants dans un open-space « créé » pour l'expérience. Un espace thermique le plus homogène possible serait

proposé (par exemple utilisation d'un amphithéâtre scolaire). Les répondants devraient alors se mettre sous des conditions de travail les plus fidèles possible à la réalité des open-spaces (conditions expérimentales rigoureuses à définir). Selon les résultats récoltés, une différence entre les genres pourrait être vérifiée pour la population. À partir des conclusions, une deuxième phase d'expérience serait dédiée à l'ajout de questions intrinsèques au genre comme les questions 43 à 49 de cette étude. L'échantillon serait le même et testé à moins de 15 jours d'intervalle pour réaliser le test de fiabilité des répondants. Les questions ajoutées seraient alors disposées avec les questions initiales de l'enquête standardisée comme ce fut le cas pour cette étude. Le protocole expérimental serait le même. Les questions pourront ensuite être analysées en profondeur afin de proposer des ajouts pertinents pour la prise en compte de facteurs influençant le confort thermique.

Une deuxième option serait de disposer de plusieurs sondes pour élargir la zone de placement admissible des répondants. Si l'open-space ne possède pas une capacité de 369 personnes, plusieurs soumissions sont envisageables comme ce fut le cas ici pour recueillir des données donnant différentes variables environnementales et individuelles du confort thermique.

En général, il est recommandé de vérifier la pertinence d'ajouter des questions complémentaires aux enquêtes standardisées choisies avant d'opérer à l'ajout des questions intrinsèques au genre. Il est également vivement recommandé de faire appel à des professionnels de santé pour les questions à traits biologiques. Cette recherche doit s'encadrer dans une démarche d'expertises multidisciplinaires pertinentes au confort thermique des open-spaces.

## 7 Conclusions

La littérature scientifique propre au confort thermique est dense et montre la complexité de fournir un modèle prédictif juste par rapport au comportement thermique humain. Les recherches sont pourtant nombreuses et l'intérêt des chercheurs pour la variable du genre ne fait que croître. Cependant, les conclusions diffèrent d'une étude à l'autre. Ces divergences instaurent une sorte de méfiance quant à la validité et la fiabilité d'assumer une différence entre les genres dans le confort thermique. Toutefois, de nombreuses études concluent à une différence entre les genres (cf. Tableau 2-1) et expliquent qu'elle est intrinsèquement liée à la thermorégulation spécifique des hommes et des femmes (Du et al., 2023; Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001).

Devant ce constat, la présente étude visait à remettre en cause les questionnaires standardisés de la norme ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020) en proposant de nouvelles questions destinées aux femmes, mais également des questions plus générales inspirées d'autres recherches sur le confort thermique (digestion, sommeil, activité sportive, tabagisme...). L'objectif de l'étude était d'évaluer la pertinence d'intégrer davantage de considération de la différence des genres dans les enquêtes de bien-être. L'analyse statistique des données recueillies permet d'évaluer si oui ou non la différence entre les genres est significative.

Malheureusement, l'échantillon obtenu pour cette étude est trop faible pour conclure à une différence significative dans la population générale. Toutefois, les résultats montrent que pour certaines variables, la différence est significative. Ici, la sensation thermique et l'habillement ont montré à la suite du test U de Mann-Whitney une significativité statistique. Les autres variables étant non concluantes, il n'est pas apparu nécessaire, dans le cadre de la présente recherche, de procéder à une analyse approfondie du questionnaire pour déterminer la valeur ajoutée des questions supplémentaires à la version standardisée. En effet, l'objectif de la recherche était de fournir, **s'il s'était avéré pertinent**, un outil plus intégratif des caractéristiques biologiques inhérentes à la femme, cet outil devant servir à la population. Il est testé ici pour être éventuellement utilisé dans d'autres situations. Cela signifie que si une analyse supplémentaire avait été opérée sur l'outil développé dans cette étude, elle se baserait sur des conclusions propres à un échantillon donné dans une situation spécifique trop restreinte.

Par conséquent, la conclusion à donner à la question de recherche est : il n'est pas pertinent d'ajouter **dans cette étude** une dimension davantage inclusive de la différence des genres. Par contre, il est crucial de réaliser une recherche de plus grande ampleur pour évaluer la qualité du questionnaire standardisé révisé. En effet, cette étude montre tout de même deux variables impactées par le genre. Il n'est donc pas exclu d'avoir des résultats semblables à l'échelle de la population. De plus, même si les autres variables n'ont pas de différence significative entre les genres, cela ne doit pas conclure à une généralisation de ce constat. Il peut tout de même exister un impact du genre dans la population pour les autres variables. Les résultats statistiques dépendent fortement des conditions et données liées à l'étude. C'est toute la complexité du problème posé.

En général, on retiendra une chose essentielle, qu'il y ait une différence ou non entre les genres, la variable la plus facile à modifier pour essayer d'atteindre un maximum de satisfaits est l'habillement (Maykot et al., 2018). Il est plus facile de jouer sur la thermorégulation comportementale que sur la thermorégulation physiologique. Comme l'ont constaté G. S. Brager & de Dear (1998), les humains sont dotés d'une capacité d'auto adaptation non négligeable dans le confort thermique.

En réalité, la question de recherche remet en cause la manière d'intégrer les différences individuelles dans la thermorégulation physiologique. Or, il est indispensable de se pencher davantage sur les variables intégrées dans les équations du confort thermique. C'est-à-dire qu'il faudrait regrouper plusieurs experts multidisciplinaires autour de la question pour élaborer un modèle qui serait capable de prendre en considération ces différences entre les genres. Ce constat sort du cadre de l'étude, mais il offre des perspectives intéressantes pour le monde de la recherche scientifique.

## 8 Références

Anderson, D. B. (2023, juillet 29). Taille de l'effet : Qu'est-ce que c'est et pourquoi c'est important. *Statorials*. <https://statorials.org/taille-de-leffet/>

André, P. (2023). *ARCH0080-1 : Physique du bâtiment et climatisation. Notions de confort thermique : Notes de cours*. Université de Liège.

ANSI/ASHRAE Standard 55. (2020). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ISSN 1041-2336; ANSI/ASHRAE Standard 55-2020). Standing Standard Project Committee (SSPC). Atlanta. United States. [https://store.accuristech.com/ashrae/standards/ashrae-55-2020?product\\_id=2207271](https://store.accuristech.com/ashrae/standards/ashrae-55-2020?product_id=2207271)

Article 64 du Règlement général pour la protection du travail, Règlement général pour la protection du travail (RGPT) (1946).

Article V.1-1 du Code du bien-être au travail, Code du bien-être au travail 343 (2017).

Attia, S., Garat, S., & Cools, M. (2019). Development and validation of a survey for well-being and interaction assessment by occupants in office buildings with adaptive facades. *Building and Environment*, 157, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.054>

Aufauvre-Poupon, C., & Trousselard, M. (2018). Neurosciences et différences homme-femme : Application aux environnements opérationnels. *Revue Défense Nationale*, 808(3), 85-90. <https://doi.org/10.3917/rdna.808.0085>

Bajc, T., & Milanović, S. (2019). Gender differences in environment evaluation for office building. *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1-5. <https://doi.org/10.23919/SpliTech.2019.8783130>

Balthazart, J., & Toussaint, J.-F. (2019). Les différences hommes, femmes : Entre biologie, environnement et société. *The Conversation France*. <https://insep.hal.science/hal-02926415>

Bluyssen, P. M. (2014). *The healthy Indoor Environment, How to assess occupants' wellbeing in buildings*. Earthscan from Routledge; London (UK) and New-York (USA).

Bluyssen, P. M., Aries, M., & van Dommelen, P. (2011). Comfort of workers in office buildings : The European HOPE project. *Building and Environment*, 46(1), 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.024>

Bodiguel, J. (s. d.-a). *Développement durable*. Développement durable. Consulté 7 juin 2024, à l'adresse <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/>

Bodiguel, J. (s. d.-b). Objectif de Développement Durable : Égalité des sexes. *Développement durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/gender-equality/>

Bodiguel, J. (s. d.-c). Objectif de Développement Durable—Industrie, innovation et infrastructures. *Développement durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/infrastructure/>

- Bodiguel, J. (s. d.-d). Objectif de Développement Durable—La consommation et la production durables. *Développement durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/sustainable-consumption-production/>
- Boity, A. K., Kaur, J., & Varshney, C. (2022). Sick Building Syndrome (SBS) in Ill-Lit and Ill-Ventilated Buildings. *ECS Transactions*, 107(1), 9275. <https://doi.org/10.1149/10701.9275ecst>
- Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment : A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83-96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- Brager, G., Zhang, H., & Arens, E. (2015). Evolving opportunities for providing thermal comfort. *Building Research and Information*, 43. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.993536>
- Burse, R. L. (1979). Sex Differences in Human Thermoregulatory Response to Heat and Cold Stress. *Human Factors*, 21(6), 687-699. <https://doi.org/10.1177/001872087912210606>
- Cabannais, M., Lescoche, A., & Baillard, C. (2010). *Hypothermie peropératoire*. 52e congrès national d'anesthésie et de réanimation, Paris, France. [https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/hypothermie\\_peroperatoire.pdf](https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/hypothermie_peroperatoire.pdf)
- Cantin, R., Moujalled, B., & Guarracino, H. (2005, septembre). *Complexité du confort thermique dans les bâtiments*. 6 ème congrès Européen de Sciences des Systèmes Paris, Paris, France. <http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/Paris05/cantin.pdf>
- Captif. (2019, mars 28). Bureau paysager : Malédiction ou bénédiction ? Qu'en est-il finalement ? *CAPTIF Office Architects*. <https://captif.be/fr/bureau-paysager-avantages-et-inconvenients/>
- Charles, K. E. (2003). *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. <https://doi.org/10.4224/20378865>
- Choi, J.-H., Aziz, A., & Loftness, V. (2010). Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings. *Building and Environment*, 45, 1529-1535. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.004>
- Dagnelie, P. (2013). *Statistique théorique et appliquée: Vol. Tome 1 : Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique* (Troisième édition). De Boeck. Bruxelles. Belgique.
- DATAtab, T. (2024a). *Test t non apparié*. <https://datatab.fr/tutorial/unpaired-t-test>
- DATAtab, T. (2024b). *Test U de Mann-Whitney*. <https://datatab.fr/tutorial/mann-whitney-u-test>
- De Carli, M., Olesen, B. W., Zarrella, A., & Zecchin, R. (2007). People's clothing behaviour according to external weather and indoor environment. *Building and Environment*, 42, 3965-3973. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.038>

Debaty, P. (1967). *La mesure des attitudes* (N°28296). Presses Universitaires De France. Paris. France.

DO, T., & Schneider, A.-R. (2023). *Quels salariés exercent en open space ?* (Dares Analyses n°66). Dares. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publication/quels-salaries-exercent-en-open-space>

Donnini, G., Nguyen, V. H., Lai, D. H. C., LaFlamme, M., Haghghat, F., Molina, J., Lai, H. K., Martello, C., & Chang, C. Y. (1997). *Field study of occupant comfort and office thermal environments in a cold climate* (CONF-970668-). Article CONF-970668-. <https://www.osti.gov/biblio/349957>

Du, H., Zhao, Z., Lyu, J., Li, J., liu, Z., Li, X., Yang, Y., Lan, L., & Lian, Z. (2023). Gender differences in thermal comfort under coupled environmental factors. *Energy and Buildings*, 295, 113345. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113345>

Easily, L. S. (2024, février 27). *Statistiques non paramétriques : Un guide complet*. LEARN STATISTICS EASILY. <https://fr.statisticseasily.com/statistiques-non-param%C3%A9triques/>

EN 16978-1. (2019). *Performance énergétique des bâtiments—Ventilation des bâtiments—Partie 1 : Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique (Module M1-6)*. Bruxelles, Belgique.

[https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=197292&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=88831](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=197292&p40_language_code=nl&p40_detail_id=88831)

EN 60584-1. (2013). *Thermocouples—Partie 1 : Spécifications et tolérances EMF*. Genève, Suisse. <https://www.en-standard.eu/bs-en-60584-1-2013-thermocouples-emf-specifications-and-tolerances/>

Energie plus. (2007, septembre 25). Confort thermique : Généralité. *Energie Plus Le Site*. <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort : Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press. [https://openlibrary.org/books/OL23129019M/Thermal\\_comfort](https://openlibrary.org/books/OL23129019M/Thermal_comfort)

Farnir, F. (2021, septembre 14). *Vérifier la normalité des données*. [http://www.biostat.ulg.ac.be/pages/Site\\_r/Normalite.html](http://www.biostat.ulg.ac.be/pages/Site_r/Normalite.html)

Faure, S., Buzzi, E., Pernici, M., Rhanny, N., & Spotorno, S. (2010). Spécialisation et interaction hémisphériques : De l'impasse des études sur les différences entre les hommes et les femmes à la prise en compte des hormones sexuelles. *Revue de neuropsychologie*, 2(4), 320-325. <https://doi.org/10.1684/nrp.2010.0096>

Fettweis, X., Termonia, P., Hamdi, R., Van Schayebroek, B., Willems, P., Van Lipzig, N., Van Ypersele, J.-P., Marbaix, P., De Ridder, K., Gobin, A., Stavrakou, T., Luyten, P., & Pottiaux, E. (2016). Impact du changement climatique en Belgique. *Consortium Cordex*. [https://orfeo.belnet.be/bitstream/handle/internal/4805/Termonia\(2016a\).pdf?sequence=1](https://orfeo.belnet.be/bitstream/handle/internal/4805/Termonia(2016a).pdf?sequence=1)

- Frogneux, N., Luyckx, C., & Bartiaux, F. (2014). Liberté individuelle et contraintes matérielles : Une approche conceptuelle de la pauvreté énergétique en Belgique. *Vertigo: la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(3). <https://www.erudit.org/en/journals/vertigo/2014-v14-n3-vertigo02337/1034940ar/abstract/>
- Greisch sa, B. d'études. (2009). *Bureau Greisch à Liège—Extension*. Bureau greisch. [https://www.greisch.com/projet/bureau\\_greisch\\_extension\\_ts/](https://www.greisch.com/projet/bureau_greisch_extension_ts/)
- Han, J., Zhang, G., Zhang, Q., Zhang, J., Liu, J., Tian, L., Zheng, C., Hao, J., Lin, J., Liu, Y., & Moschandreas, Demetrios. J. (2007). Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. *Building and Environment*, 42(12), 4043-4050. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.028>
- Hu, J., He, Y., Hao, X., Li, N., Su, Y., & Qu, H. (2022). Optimal temperature ranges considering gender differences in thermal comfort, work performance, and sick building syndrome : A winter field study in university classrooms. *Energy and Buildings*, 254, 111554. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111554>
- ISO 7243. (2017). *Ergonomie des ambiances thermiques—Estimation de la contrainte thermique basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir)*. Genève, Suisse. <https://www.iso.org/fr/standard/67188.html>
- ISO 7726. (1998). *Ergonomie des ambiances thermiques—Appareils de mesure des grandeurs physiques (Version 2)*. Genève, Suisse. <https://www.iso.org/fr/standard/14562.html>
- ISO 7730. (2005). *Ergonomie des ambiances thermiques—Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local (Version 3)*. Genève, Suisse. <https://www.iso.org/fr/standard/39155.html>
- ISO 10551. (2019). *Ergonomie de l'environnement physique—Échelles de jugements subjectifs pour l'évaluation des environnements physiques*. Genève, Suisse.
- Jones, B. W. (2002). Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards. *Energy and Buildings*, 34(6), 653-659. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00016-6)
- Kaciuba-Uscilko, H., & Grucza, R. (2001). Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 4(6), 533-536. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00012>
- Kim, J., de Dear, R., Cândido, C., Zhang, H., & Arens, E. (2013). Gender differences in office occupant perception of indoor environment quality (IEQ). *Building and Environment*, 70, 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.022>
- Klein, S. L., Schiebinger, L., Stefanick, M. L., Cahill, L., Danska, J., de Vries, G. J., Kibbe, M. R., McCarthy, M. M., Mogil, J. S., Woodruff, T. K., & Zucker, I. (2015). Sex inclusion in basic research drives discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(17), 5257-5258. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502843112>
- Lafont, F. (2024, février 23). Déterminer la taille de l'échantillon. *Questio*. <https://blog.questio.fr/determiner-taille-echantillon>

- Lardinois, G. (2024). *Entretien avec un ingénieur expert HVAC : Guy Lardinois*.
- Lavoye, F., & Thellier, F. (2008). *Le confort thermique dans les bâtiments* (I. de L. et de l'environnement de la Francophonie, Éd.). <https://hal.science/hal-02180957>
- Leder, S., Newsham, G. R., Veitch, J. A., Mancini, S., & Charles, K. E. (2016). Effects of office environment on employee satisfaction : A new analysis. *Building Research & Information*, 44(1), 34-50. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.1003176>
- Lemarchand, P. (2023). *Chapitre 2. La catégorie homme/femme à l'épreuve de la recherche biomédicale* (p. 23). Éditions Matériologiques. <https://doi.org/10.3917/edmat.lemar.2023.01.0025>
- Li, H., Hu, H., Kong, X., & Fan, M. (2023). Experimental study on human multi-node thermal sensitivity and thermal demand oriented to uniform environment. *Building and Environment*, 243, 110677. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110677>
- Li, Z., Zhang, Q., Kazanci, O. B., Fan, F., & Olesen, B. W. (2022). Investigation of group differences in human perceptions of indoor environment in open-plan offices in a severe cold region. *Building and Environment*, 213, 108855. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108855>
- Lindberg, U., Fahlén, P., Axell, M., & Fransson, N. (2017). Thermal comfort in the supermarket environment – multiple enquiry methods and simultaneous measurements of the thermal environment. *International Journal of Refrigeration*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.06.020>
- Lugen. (2015). *Petit guide de méthodologie de l'enquête*. <https://www.docsity.com/fr/petit-guide-de-methodologie-de-l-enquete/5060111/>
- Maher, A., & von Hippel, C. (2005). Individual differences in employee reactions to open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, 25(2), 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2005.05.002>
- Maykot, J. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.033>
- MIEVIS, P. (2024, mars 1). *Bilan climatologique de février 2024*. Météo en Belgique. <https://www.meteobelgique.be/article/relevés-et-analyses/annee-2024/2544-bilan-climatologique-de-fevrier-2024>
- Navai, M., & Veitch, J. A. (2003). Acoustic Satisfaction in Open-Plan Offices : Review and Recommendations. *Institute for Research in Construction-National Research Council Canada*.
- NBN EN 12599. (2012). *Ventilation des bâtiments- Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de conditionnement d'air et de ventilation*. [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=178670&p40\\_language\\_code=en&p40\\_detail\\_id=68012&session=14252990886320](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=178670&p40_language_code=en&p40_detail_id=68012&session=14252990886320)
- NBN EN 13779. (2007). *Ventilation dans les bâtiments non résidentiels-Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de climatisation*. Bruxelles, Belgique.

[https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=234692&p40\\_language\\_code=en&p40\\_detail\\_id=38102&session=14252990886320](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=234692&p40_language_code=en&p40_detail_id=38102&session=14252990886320)

NBN EN 15251. (2007). *Critères pour l'environnement intérieur et évaluation des performances énergétiques des bâtiments couvrant la qualité d'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique*. Bruxelles, Belgique.

OMS, O. mondiale de la santé. (2024, mars 1). *Obésité et surpoids*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

Özer, A. B., Yildiz Altun, A., Erhan, Ö. L., Çatak, T., Karatepe, Ü., Demirel, İ., & Çağlar Toprak, G. (2016). The effect of body mass index on perioperative thermoregulation. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 12(null), 1717-1720. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S122700>

Roulet, C.-A. (2008). *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments* (Deuxième édition mise à jour et complétée). Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne. Suisse.

Sakellaris, I. A., Saraga, D. E., Mandin, C., Roda, C., Fossati, S., De Kluizenaar, Y., Carrer, P., Dimitroulopoulou, S., Mihucz, V. G., Szigeti, T., Hänninen, O., De Oliveira Fernandes, E., Bartzis, J. G., & Bluyssen, P. M. (2016). Perceived Indoor Environment and Occupants' Comfort in European "Modern" Office Buildings: The OFFICAIR Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijerph13050444>

Sciama, Y. (2023, novembre 7). Les différences hommes-femmes sont enfin prises en compte : Une révolution annoncée en médecine. *Science et vie*. <https://www.science-et-vie.com/article-magazine/les-differences-hommes-femmes-sont-enfin-prises-en-compte-une-revolution-annoncee-en-medecine>

Service Public Fédéral. (2024). *Durée du travail et temps de repos | SPF Emploi, Travail et Concertation sociale*. <https://emploi.belgique.be/fr/themes/international/detachement/conditions-de-travail-respecter-en-cas-de-detachement-en-1>

Seyedrezaei, M., Awada, M., Becerik-Gerber, B., Lucas, G., & Roll, S. (2023). Interaction effects of indoor environmental quality factors on cognitive performance and perceived comfort of young adults in open plan offices in North American Mediterranean climate. *Building and Environment*, 244, 110743. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110743>

SINTRA Srl. (s. d.). *Technologies de diffusion de l'air ambiant | Sintra Mix-ind*. <https://www.sintra-mixind.com/tecnologie/>

SPF, S. publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement. (2024). *2023—Rapport de synthèse*. *Klimaat | Climat*. <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rapports-du-giec/2023-rapport-de-synthese>

SPW. (s. d.). *La réglementation wallonne—PEB*. Site énergie du Service public de Wallonie. <https://energie.wallonie.be/fr/reglementation-wallonne-sur-la-peb.html?IDC=7224>

- STATBEL. (2022, mars 31). *Un quart des salariés travaille à temps partiel* | Statbel. <https://statbel.fgov.be/fr/nouvelles/un-quart-des-salaries-travaille-temps-partiel-0>
- Szyk, B., & Szczepanek, A. (2024, janvier 18). *Calculateur de valeur p*. <https://www.omnicalculator.com/fr/statistiques/calculateur-valeur-p>
- Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., & Hoyt, T. (2020). *CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations* (2.5.5) [Logiciel]. CBE Center For The Built Environment; <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>. <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- Testo 400 Kit de confort thermique avec trépied. (2024). Testo. <https://www.testo.com/fr-BE/testo-400-kit-de-confort-thermique-avec-trepied/p/0563-0402>
- Tuomaala, P., Holopainen, R., Piira, K., & Airaksinen, M. (2013). *Impact Of Individual Characteristics – Such As Age, Gender, Bmi, And Fitness – On Human Thermal Sensation*. 13, 2305-2311. <https://doi.org/10.26868/25222708.2013.2240>
- Wang, M., Li, L., Hou, C., Guo, X., & Fu, H. (2022). Building and Health : Mapping the Knowledge Development of Sick Building Syndrome. *Buildings*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/buildings12030287>
- Weilan, W., Zhaosong, F., Xiangfei, J., & Zhimin, Z. (2022). Predicted mean vote model for thermal comfort evaluation of pregnant women considering the effects of metabolic rate. *Indoor and Built Environment, Volume 32, Issue 4*, 667-680. <https://doi.org/10.1177/1420326X221130473>
- Yao, R., Zhang, S., Du, C., Schweiker, M., Hodder, S., Olesen, B. W., Toftum, J., Romana d'Ambrosio, F., Gebhardt, H., Zhou, S., Yuan, F., & Li, B. (2022). Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. *Building and Environment*, 217, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109020>
- Young, A. J. (1991). Effects of Aging on Human Cold Tolerance. *Experimental Aging Research*, 17(3), 205-213. <https://doi.org/10.1080/03610739108253898>

# Annexe 1 : Les 17 objectifs du développement durable

 <p>1 PAS DE PAUVRETÉ</p>	<b>ÉLIMINER LA PAUVRETÉ SOUS TOUTES SES FORMES ET PARTOUT DANS LE MONDE</b>
 <p>2 FAIM «ZERO»</p>	<b>ÉLIMINER LA FAIM, ASSURER LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE, AMÉLIORER LA NUTRITION ET PROMOUVOIR L'AGRICULTURE DURABLE</b>
 <p>3 BONNE SANTÉ ET BIEN-ÊTRE</p>	<b>PERMETTRE À TOUS DE VIVRE EN BONNE SANTÉ ET PROMOUVOIR LE BIEN-ÊTRE DE TOUS À TOUT ÂGE</b>
 <p>4 ÉDUCATION DE QUALITÉ</p>	<b>ASSURER L'ACCÈS DE TOUS À UNE ÉDUCATION DE QUALITÉ, SUR UN PIED D'ÉGALITÉ, ET PROMOUVOIR LES POSSIBILITÉS D'APPRENTISSAGE TOUT AU LONG DE LA VIE</b>
 <p>5 ÉGALITÉ ENTRE LES SEXES</p>	<b>PARVENIR À L'ÉGALITÉ DES SEXES ET AUTONOMISER TOUTES LES FEMMES ET LES FILLES</b>
 <p>6 EAU PROPRE ET ASSAINISSEMENT</p>	<b>GARANTIR L'ACCÈS DE TOUS À L'EAU ET À L'ASSAINISSEMENT ET ASSURER UNE GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAU</b>
 <p>7 ÉNERGIE PROPRE ET D'UN COÛT ABORDABLE</p>	<b>GARANTIR L'ACCÈS DE TOUS À DES SERVICES ÉNERGÉTIQUES FIABLES, DURABLES ET MODERNES À UN COÛT ABORDABLE</b>
 <p>8 TRAVAIL DÉCENT ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE</p>	<b>PROMOUVOIR UNE CROISSANCE ÉCONOMIQUE SOUTENUE, PARTAGÉE ET DURABLE, LE PLEIN EMPLOI PRODUCTIF ET UN TRAVAIL DÉCENT POUR TOUS</b>
 <p>9 INDUSTRIE, INNOVATION ET INFRASTRUCTURE</p>	<b>BÂTIR UNE INFRASTRUCTURE RÉSILIENTE, PROMOUVOIR UNE INDUSTRIALISATION DURABLE QUI PROFITE À TOUS ET ENCOURAGER L'INNOVATION</b>



Figure A.1 - 1 : Les 17 objectifs du développement durable (Source : images issues des présentations de Bodiguel (s. d.-a))

# Annexe 2 : Questionnaire soumis à l'entreprise

Enquête : la perception du confort thermique au sein d'un aménagement en open-space

Veuillez répondre aux questions suivantes en fonction de la situation actuelle au sein des lieux <sup>1</sup>

- 1. Indiquez l'heure et la date (JJ/MM/AA) :**  
À .....h.....  
Le ...../...../.....
- 2. Indiquez votre sexe :**  
 Femme  
 Homme
- 3. Quel âge avez-vous ? ..... ans**
- 4. Quelle est votre taille ? .....cm**
- 5. Quel est votre poids ? .....kg**
- 6. Êtes-vous fumeur régulier ?**  
 Oui  
 Non
- 7. Avez-vous pratiqué une activité sportive avant cette enquête ?**  
 Oui  
 Non  
 Si oui, laquelle :  
.....
- 8. Avez-vous pratiqué une activité sportive cette semaine ?**  
 Oui, j'ai pratiqué comme d'habitude  
 Oui, mais j'ai fait moins d'activité sportive que d'habitude  
 Oui, mais j'ai fait plus d'activité sportive que d'habitude  
 Non, je n'ai pas pratiqué cette semaine  
 Je ne fais pas d'activité sportive
- 9. Comment qualifieriez-vous votre état de santé actuellement ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**  
 Enrhumé(e)  
 Allergies
- Indigestion  
 Soumis à de la fatigue  
 Soumis à du stress  
 Bon / Rien à signaler  
 Autre(s) :  
.....
- 10. Êtes-vous sujet à des troubles du sommeil ?**  
 Oui  
 Non
- 11. Si vous avez répondu oui à la question 10, à quelle fréquence ?**  
 Moins d'une fois par semaine  
 1 à 2 fois par semaine  
 2 à 3 fois par semaine  
 3 à 4 fois par semaine  
 4 à 5 fois par semaine  
 5 à 6 fois par semaine  
 6 à 7 fois par semaine
- 12. Combien d'heures avez-vous dormi la nuit passée ? ..... h**
- 13. A combien s'estime en moyenne votre nombre d'heures de sommeil en semaine par nuit ? ..... h/nuit**
- 14. Êtes-vous en phase de digestion ?**  
 Oui  
 Non
- 15. Depuis quand travaillez-vous dans cet espace ? Mettez une estimation la plus précise possible :**  
Depuis le ...../...../.....

<sup>1</sup> Les questions munies du symbole \* proviennent de la traduction de l'enquête standardisée « ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 » issue du rapport « Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy »

16. Quelle est votre fonction au sein de l'entreprise ?

.....

17. Combien d'heures en moyenne par semaine occupez-vous cet espace ? ..... h

18. Notez la température extérieure approximative et les conditions saisonnières \* :

.....°C

- Hiver
- Printemps
- Été
- Automne

19. Quelle est votre sensation thermique générale ? (Cochez la réponse la plus appropriée) \*

- Chaud (étouffant)
- Chaud (agréable)
- Légèrement chaud
- Neutre
- Légèrement frais
- Frais
- Froid

20. Quel est votre niveau de confort thermique actuellement ?

- Très confortable
- Confortable
- Juste confortable
- Neutre
- Juste inconfortable
- Inconfortable
- Très inconfortable

21. Soit (a) placer un "x" à l'endroit approprié où vous passez le plus clair de votre temps \*

*Placez une croix sur le plan distribué en annexe*

(b) cochez la case qui décrit le mieux la zone du bâtiment où vous vous trouvez actuellement. \*

- Nord
- Est
- Sud
- Ouest
- Centre
- Je ne sais pas

22. A quel étage du bâtiment se trouve votre espace ? \*

- Rez-de-Chaussée
- Premier étage
- Deuxième étage
- Autre (indiquer le numéro de l'étage) :

.....

23. Êtes-vous près d'un mur extérieur (à moins de 5 m) ? \*

- Oui
- Non

24. Êtes-vous près d'une fenêtre (à moins de 5 m) ? \*

- Oui
- Non

25. À l'aide de la liste ci-dessous, cochez chaque vêtement que vous portez en ce moment. (Cochez toutes les cases correspondantes)<sup>2</sup> :

- Débardeur
- Tee-shirt à manches courtes
- Tee-shirt à manches longues
- Chemise à manches courtes
- Chemise à manches longues
- Blouse à manches courtes
- Blouse à manches longues
- Pull à col roulé
- Pull en laine
- Pull à manches longues
- Sweatshirt à manches longues
- Veste de costume
- Veste légère
- Veste de mi-saison
- Veste d'hiver
- Cardigan

<sup>2</sup> Voir suite des propositions à la page suivante

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Jupe courte    | <input type="checkbox"/> Derbies  |
| <input type="checkbox"/> Jupe mi-longue | <input type="checkbox"/> Sandales   |
| <input type="checkbox"/> Jupe longue    | <input type="checkbox"/> Écharpe  |
| <input type="checkbox"/> Robe longue    | <input type="checkbox"/> Foulard  |
| <input type="checkbox"/> Robe mi-longue | <input type="checkbox"/> Autre(s) : (Veuillez noter si vous portez quelque chose qui n'est pas décrit ci-dessus ou si vous pensez que ce que vous portez est particulièrement important.) |
| <input type="checkbox"/> Robe courte    | .....   |
| <input type="checkbox"/> Collants       | .....   |
| <input type="checkbox"/> Short          | .....   |
| <input type="checkbox"/> Pantalon       | .....   |
| <input type="checkbox"/> Jeans          | .....   |
| <input type="checkbox"/> Jogging        | .....   |
| <input type="checkbox"/> Chaussettes    | .....   |
| <input type="checkbox"/> Bottes         | .....   |
| <input type="checkbox"/> Bottines       | .....   |
| <input type="checkbox"/> Baskets        | .....   |
| <input type="checkbox"/> Mocassins      | .....   |

**26. Adaptez-vous votre habillement en période hivernale selon les conditions liées à votre environnement de travail ?**

- Oui, tous les jours
- Oui, parfois
- Non, jamais
- Je n'y pense pas vraiment

**27. Quel est votre niveau d'activité actuel ? (Cochez la case la plus appropriée) \***

- Couché
- Assis
- Debout détendu
- Debout avec une activité légère
- Debout avec une activité moyenne
- Activité importante

**28. Comment qualifieriez-vous votre humeur actuellement ?**

Très heureux  ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○  Très malheureux

**29. Comment qualifieriez-vous votre état de concentration actuellement ?**

Très concentré  ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○  Très déconcentré

**30. Et votre état d'éveillement ?**

Très éveillé  ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○  Très somnolent

Veillez répondre aux questions suivantes en fonction de votre expérience générale au sein des lieux

**31. Parmi les éléments suivants, quels sont ceux que vous réglez ou contrôlez personnellement dans votre espace ? (Cochez toutes les cases correspondantes.) \***

- Stores pour fenêtres
- Unité de climatisation de la pièce
- Chauffage portable
- Chauffage permanent
- Porte vers l'espace intérieur
- Porte donnant sur l'espace extérieur
- Ventilation réglable au mur ou au plafond
- Ventilateur de plafond
- Ventilation réglable du plancher (diffuseur)
- Ventilateur portable
- Thermostat
- Fenêtre ouvrante
- Vanne thermostatique
- Tenue vestimentaire
- Aucun de ces éléments
- Autre(s) :

.....  
.....

**32. Quel est votre degré de satisfaction concernant la température de votre espace ? (Cochez la case la plus appropriée) \***

Très satisfait           Très insatisfait

**33. Si vous n'êtes pas satisfait de la température dans votre espace, lesquels des éléments suivants contribuent à votre insatisfaction ? \***

**a. Par temps chaud, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :\***

- Toujours trop chaude
- Souvent trop chaude
- Occasionnellement trop chaude
- Occasionnellement trop froide
- Souvent trop froide
- Toujours trop froide

**b. Par temps frais/froid, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :\***

- Toujours trop chaude
- Souvent trop chaude
- Occasionnellement trop chaude
- Occasionnellement trop froide
- Souvent trop froide
- Toujours trop froide

**c. Quand cela pose-t-il souvent un problème ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent) : \***

- Le matin (avant 11 heures)
- À midi (entre 11 et 14 heures)
- L'après-midi (entre 14 et 17 heures)
- En soirée (après 17 heures)
- Les week-ends/vacances
- Les matinées du lundi
- Aucun moment particulier
- Toujours
- Autre :

.....

.....

**d. Comment décririez-vous au mieux l'origine de cet inconfort ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent) : \***

- Humidité trop élevée (humide)
- Humidité trop basse (sec)
- Mouvement d'air trop important
- Mouvement d'air trop faible
- Soleil entrant
- Chaleur provenant des équipements de bureau
- Courants d'air provenant des fenêtres
- Courants d'air provenant de la ventilation
- Mon espace est plus chaud/froid que les autres espaces
- Le thermostat est inaccessible
- Le thermostat est ajusté par d'autres personnes
- La politique vestimentaire n'est pas flexible
- Le système de chauffage/refroidissement ne répond pas assez rapidement au thermostat
- Surfaces chaudes/froides environnantes (plancher, plafond, murs ou fenêtres)
- Fenêtre défectueuse (non opérationnelle)
- Autre(s) :

.....

.....

**e. Veuillez décrire tout autre problème lié au fait d'avoir trop chaud ou trop froid dans votre espace.\***

.....

.....

.....

.....

.....

**34. Il semblerait que les conditions thermiques impactent la productivité.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**35. Il semblerait que l'opinion personnelle soit influencée par l'effet de groupe en terme de sensation thermique.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**36. Il semblerait que les femmes ont souvent davantage froid que les hommes.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**37. Il semblerait que les hommes ont souvent davantage chaud que les femmes.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**38. Avez-vous déjà remarqué une différence majeure du confort thermique entre les genres au sein de votre espace de travail ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**

- Oui, en période estivale :
  - Les hommes ont tendance à avoir plus chaud
  - Les femmes ont tendance à avoir plus chaud
- Oui, en période hivernale :
  - Les hommes ont tendance à avoir plus froid
  - Les femmes ont tendance à avoir plus froid
- Non, je n'ai jamais remarqué de différence
- Je n'y ai jamais prêté attention

**39. Êtes-vous sensible à votre environnement thermique ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**

- Oui, je préfère travailler dans des conditions thermiques stables
- Oui, je dois m'adapter durant la journée selon les variations thermiques
- Oui, j'ai tendance à avoir vite chaud
- Oui, j'ai tendance à avoir vite froid
- Non, je n'ai jamais ressenti d'inconfort lié à l'environnement thermique dans mon espace de travail
- Non, je peux travailler sans inconfort malgré des variations thermiques remarquables



Veillez répondre aux questions suivantes uniquement si vous êtes une femme

**43. Êtes-vous enceinte ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**44. Si vous avez répondu oui à la question 43, a. Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre grossesse ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**b. Si oui, sous quelle forme cela se manifeste ?**

- J'ai tendance à avoir chaud
- J'ai tendance à avoir froid
- Les deux
- Autre(s) :

.....  
.....

**45. Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre cycle féminin ?**

- Oui
- Non
- Je suis sous contraceptif hormonal et ne possède pas de cycle féminin
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre
- Je ne suis pas concernée

**46. Si vous avez répondu « Je suis sous contraceptif hormonal et ne possède pas de cycle féminin » à la question 45 :**

**a. Sous quelle contraception êtes-vous ?**

*Contraceptifs oraux :*

- Pilule œstroprogestative (prise tous les jours pendant 12 semaines, les 7 jours qui suivent sont dédiés aux menstruations)
- Pilule progestative (prise tous les jours du mois)

- Pilule combinée (prise une fois par jour pendant 21 à 24 jours laissant place pendant 4 à 7 jours aux menstruations)

*Autres contraceptions hormonales :*

- Patch cutané
- Anneau vaginal
- Implant contraceptif
- Injection contraceptive
- Autre :

.....

- Je ne souhaite pas répondre

**b. Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre contraception ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**c. Si oui, sous quelle forme cela se manifeste ?**

- J'ai tendance à avoir chaud
- J'ai tendance à avoir froid
- Les deux
- Autre(s) :

.....

.....

**47. Si vous avez répondu oui à la question 45, à quel moment du cycle cela se manifeste ?<sup>3</sup> (Cochez la case qui s'applique)**

- Lors de la phase menstruelle
- Lors de la phase folliculaire (celle qui suit la phase menstruelle)
- Lors de la phase d'ovulation (celle qui suit la phase folliculaire)
- Lors de la phase lutéale (celle qui suit la phase d'ovulation et précède la phase menstruelle)<sup>4</sup>
- Je ne sais pas préciser lors de quelle phase cela se manifeste

<sup>3</sup> Voir schéma temporel sur la page suivante

<sup>4</sup> C'est lors de cette phase que peuvent se manifester certains symptômes du syndrome prémenstruel

**Schéma synthétique pour la question 47 :**



**48. Si vous êtes en période de péri-ménopause ou ménopausée, avez-vous observé un impact sur vos sensations thermiques ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre
- Je ne suis pas concernée

**49. Si vous avez répondu oui à la question 48, sous quelle forme cela se manifeste ?**

- J'ai tendance à avoir chaud
- J'ai tendance à avoir froid
- Les deux
- Autre(s) :

.....

**50. Si vous souhaitez transmettre une réflexion personnelle liée à la complétion des questions dédiées aux femmes, le champ libre suivant y est destiné.**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## Annexe 3 : Plans du bâtiment de l'entreprise et photographies

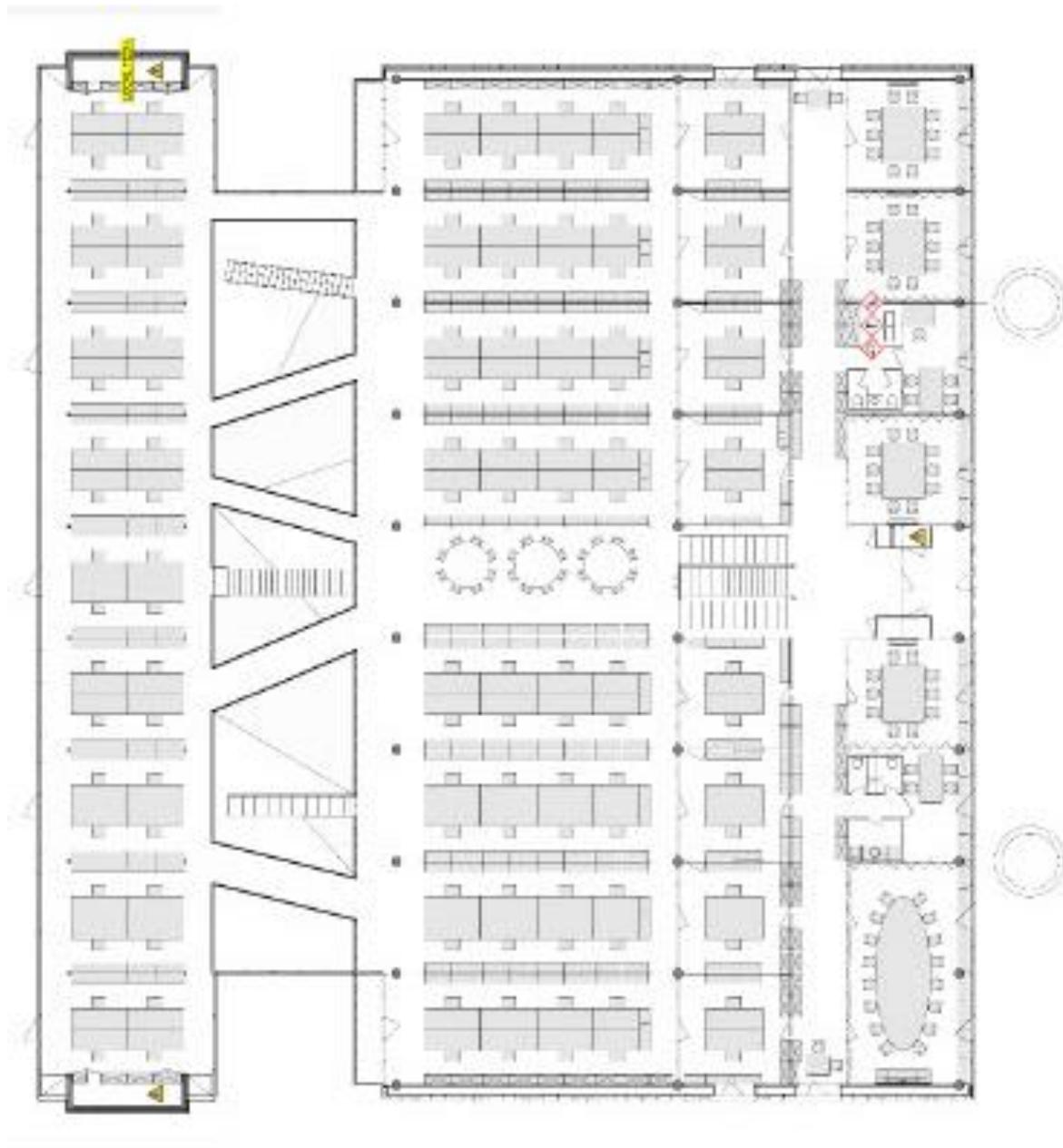


Figure A.3 - 1 : Plan du rez-de-chaussée de l'entreprise Greisch (Source : Greisch sa)

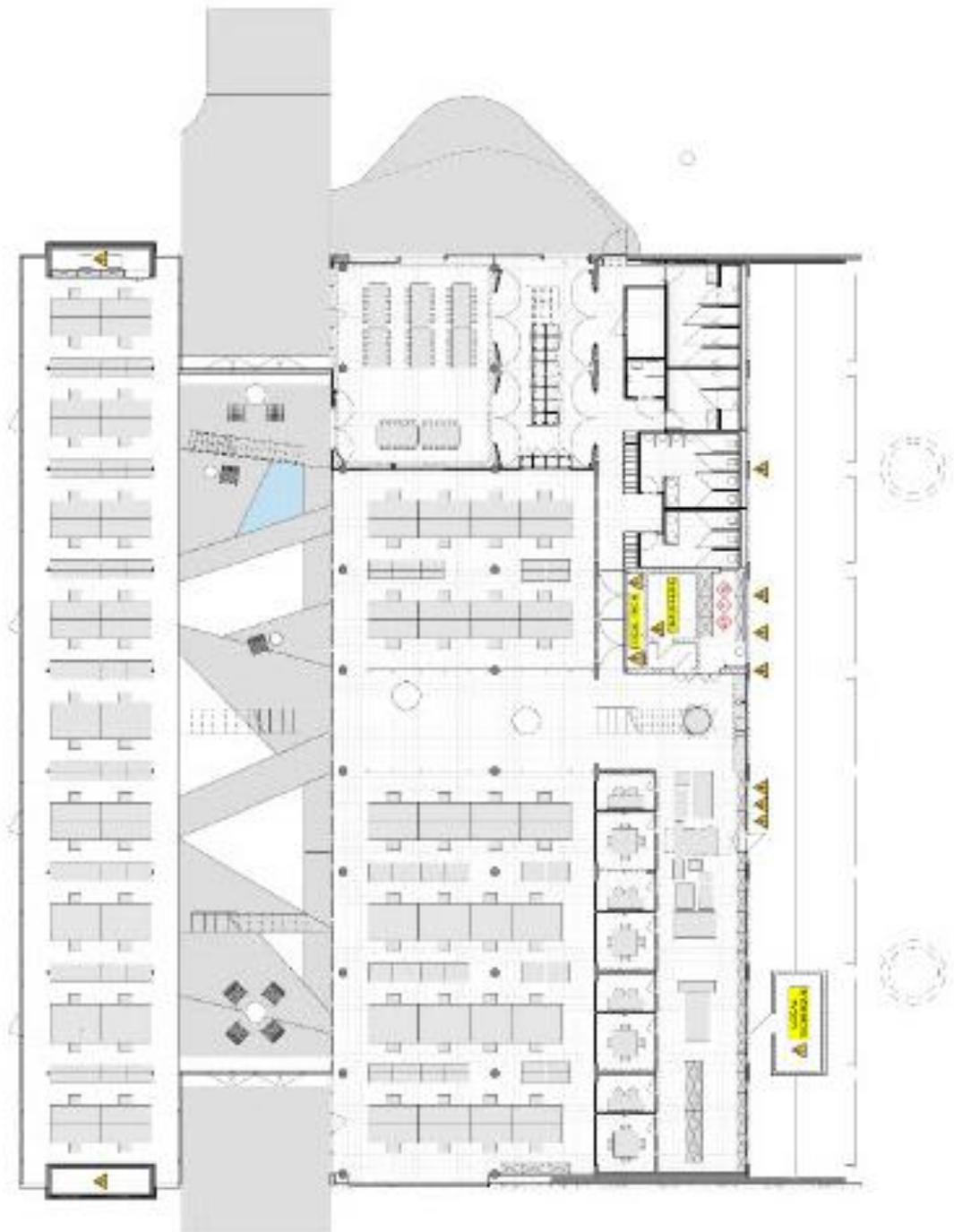


Figure A.3 - 2 : Plan du sous-sol de l'entreprise Greisch (Source : Greisch sa)



*Figure A.3 - 3 : Vue vers la façade arrière (Source : Greisch sa)*



*Figure A.3 - 4 : Vue générale extérieure du bâtiment (Source : Greisch sa)*



*Figure A.3 - 5 : Vue intérieure (Source : Greisch sa)*

# Annexe 4 : Questionnaire de l'enquête pilote

## Enquête : la perception du confort thermique au sein d'un aménagement en open-space

Veillez répondre aux questions suivantes en fonction de la situation actuelle au sein des lieux <sup>1</sup>

- 1. Indiquez votre genre :**
- Femme
- Homme
- Autre(s) : .....
- 2. Quel âge avez-vous ? .....** ans
- 3. Quelle est votre taille ? .....**cm
- 4. Quel est votre poids ? .....**kg
- 5. Êtes-vous fumeu.r.se réguli.er.ère ?**
- Oui
- Non
- 6. Avez-vous pratiqué une activité sportive avant cette enquête ?**
- Oui
- Non
- Si oui, laquelle : .....
- 7. Avez-vous pratiqué une activité sportive cette semaine ?**
- Oui, j'ai pratiqué comme habituellement
- Oui, mais j'ai fait moins d'activité sportive qu'habituellement
- Oui, mais j'ai fait plus d'activité sportive qu'habituellement
- Non, je n'ai pas pratiqué cette semaine
- Je ne fais pas d'activité sportive
- 8. Comment qualifieriez-vous votre état de santé actuellement ?**
- Enrhumé(e)
- Allergies
- Indigestion
- Soumis à de la fatigue
- Soumis à du stress
- 9. Êtes-vous sujet à des troubles du sommeil ?**
- Oui entre :
- 1 à 2 fois par semaine
- 2 à 3 fois par semaine
- 3 à 4 fois par semaine
- 4 à 5 fois par semaine
- 5 à 6 fois par semaine
- 6 à 7 fois par semaine
- Moins d'une fois par semaine
- Non
- 10. Combien d'heures avez-vous dormi la nuit passée ? .....** h
- 11. A combien s'estime en moyenne votre quota d'heures de sommeil en semaine ? .....** h
- 12. Êtes-vous en phase de digestion ?**
- Oui
- Non
- 13. Depuis quand travaillez-vous dans cet espace ? Mettez une estimation la plus précise possible :**
- Depuis le ...../...../.....
- 14. Quelle est votre fonction au sein de l'entreprise ?**
- .....
- 15. Combien d'heures en moyenne par semaine occupez-vous cet espace ? .....** h

<sup>1</sup> Les questions munies du symbole \* proviennent de la traduction de l'enquête standardisée « ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 » issue du rapport « Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy »

16. Notez la température extérieure approximative et les conditions saisonnières \* :

.....°C

- Hiver
- Printemps
- Été
- Automne

17. Quelle est votre sensation thermique générale actuellement ? (Cochez la réponse la plus appropriée) \*

- Chaud (étouffant)
- Chaud (agréable)
- Légèrement chaud
- Neutre
- Légèrement frais
- Frais
- Froid

18. Quel est votre niveau de confort thermique actuellement ?

- Très confortable
- Confortable
- Juste confortable
- Neutre
- Juste inconfortable
- Inconfortable
- Très inconfortable

19. Soit (a) placer un "x" à l'endroit approprié où vous passez le plus clair de votre temps \*

**Ajouter un plan des lieux**

**ou b) cochez la case qui décrit le mieux la zone du bâtiment où vous vous trouvez actuellement.**

- Nord
- Est
- Sud
- Ouest
- Centre
- Je ne sais pas

20. A quel étage du bâtiment se trouve votre espace ? \*

- Premier
- Deuxième
- Troisième
- Autre (indiquer le numéro de l'étage) :

.....

21. Êtes-vous près d'un mur extérieur (à moins de 5 m) ? \*

- Oui
- Non

22. Êtes-vous près d'une fenêtre (à moins de 5 m) ? \*

- Oui
- Non

23. À l'aide de la liste ci-dessous, cochez chaque vêtement que vous portez en ce moment. (Cochez toutes les cases correspondantes) :

- Débardeur
- Tee-shirt à manches courtes
- Tee-shirt à manches longues
- Chemise à manches courtes
- Chemise à manches longues
- Blouse à manches courtes
- Blouse à manches longues
- Pull à col roulé
- Pull en laine
- Sweatshirt à manches longues
- Veste de costume
- Veste légère
- Veste de mi-saison
- Veste d'hiver
- Cardigan
- Jupe courte
- Jupe mi-longue
- Jupe longue
- Robe longue
- Robe mi-longue
- Robe courte
- Collants
- Short
- Pantalon

- Jeans
  - Jogging
  - Chaussettes
  - Bottes
  - Bottines
  - Baskets
  - Mocassins
  - Derbies
  - Sandales
  - Écharpe
  - Foulard
- Autre(s) : (Veuillez noter si vous portez quelque chose qui n'est pas décrit ci-dessus ou si vous pensez que ce que vous portez est particulièrement important.)
  - .....
  - .....
  - .....
  - .....
  - .....

**24. Adaptez-vous votre habillement en période hivernale selon les conditions liées à votre environnement de travail ?**

- Oui, tous les jours
- Oui, parfois
- Non, jamais
- Je n'y pense pas vraiment

**25. Quel est votre niveau d'activité actuel ? (Cochez la case la plus appropriée) \***

- Couché
- Assis
- Debout détendu
- Debout avec une activité légère
- Debout avec une activité moyenne
- Activité importante

**26. Comment qualifieriez-vous votre humeur actuellement ?**

Très heureux



Très malheureux

**27. Comment qualifieriez-vous votre état de concentration actuellement ?**

Très concentré



Très déconcentré

**28. Et votre état d'éveillement ?**

Très éveillé



Très somnolent

Veillez répondre aux questions suivantes en fonction de votre expérience générale au sein des lieux

**29. Parmi les éléments suivants, quels sont ceux que vous réglez ou contrôlez personnellement dans votre espace ? (Cochez toutes les cases correspondantes.) \***

- Stores pour fenêtres
- Unité de climatisation de la pièce
- Chauffage portable
- Chauffage permanent
- Porte vers l'espace intérieur
- Porte donnant sur l'espace extérieur
- Ventilation réglable au mur ou au plafond
- Ventilateur de plafond
- Ventilation réglable du plancher (diffuseur)
- Ventilateur portable
- Thermostat
- Fenêtre ouvrante
- Aucun de ces éléments
- Autre(s) :

.....  
.....

**30. Quel est votre degré de satisfaction concernant la température de votre espace ? (Cochez la case la plus appropriée) \***

Très satisfait



Très insatisfait

**31. Si vous n'êtes pas satisfait de la température dans votre espace, lesquels des éléments suivants contribuent à votre insatisfaction ? \***

**a. Par temps chaud, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :**

- Toujours trop chaude
- Souvent trop chaude
- Occasionnellement trop chaude
- Occasionnellement trop froide
- Souvent trop froide
- Toujours trop froide

**b. Par temps frais/froid, la température dans mon espace est (cochez la case la plus appropriée) :**

- Toujours trop chaude
- Souvent trop chaude
- Occasionnellement trop chaude
- Occasionnellement trop froide
- Souvent trop froide
- Toujours trop froide

6 sur 9

**c. Quand cela pose-t-il souvent un problème ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent) :**

- Le matin (avant 11 heures)
- À midi (entre 11 et 14 heures)
- L'après-midi (entre 14 et 17 heures)
- En soirée (après 17 heures)
- Les week-ends/vacances
- Les matinées du lundi
- Aucun moment particulier
- Toujours
- Autre :

.....

**d. Comment décririez-vous au mieux l'origine de cet inconfort ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent) :**

- Humidité trop élevée (humide)
- Humidité trop basse (sec)
- Mouvement d'air trop important
- Mouvement d'air trop faible
- Soleil entrant
- Chaleur provenant des équipements de bureau
- Courants d'air provenant des fenêtres
- Courants d'air provenant de la ventilation
- Mon espace est plus chaud/froid que les autres espaces
- Le thermostat est inaccessible
- Le thermostat est ajusté par d'autres personnes
- La politique vestimentaire n'est pas flexible
- Le système de chauffage/refroidissement ne répond pas assez rapidement au thermostat
- Surfaces chaudes/froides environnantes (plancher, plafond, murs ou fenêtres)
- Fenêtre défectueuse (non opérationnelle)
- Autre(s) :

.....  
.....

**e. Veuillez décrire tout autre problème lié au fait d'avoir trop chaud ou trop froid dans votre espace.**

.....  
.....  
.....

**32. Il semblerait que les conditions thermiques impactent la productivité.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**33. Il semblerait que l'opinion personnelle soit influencée par l'effet de groupe en terme de sensation thermique.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**34. Il semblerait que les femmes ont souvent davantage froid que les hommes.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**35. Il semblerait que les hommes ont souvent davantage chaud que les femmes.**

- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne me prononce pas

**36. Avez-vous déjà remarqué une différence majeure du confort thermique entre les genres au sein de votre espace de travail ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**

- Oui, en période estivale :
  - Les hommes ont tendance à avoir plus chaud
  - Les femmes ont tendance à avoir plus chaud
- Oui, en période hivernale :
  - Les hommes ont tendance à avoir plus froid
  - Les femmes ont tendance à avoir plus froid
- Non, je n'ai jamais remarqué de différence
- Je n'y ai jamais prêté attention

**37. Êtes-vous sensible à votre environnement thermique ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**

- Oui, je préfère travailler dans des conditions thermiques stables
- Oui, je dois m'adapter durant la journée selon les variations thermiques
- Oui, j'ai tendance à avoir vite chaud
- Oui, j'ai tendance à avoir vite froid
- Non, je n'ai jamais ressenti d'inconfort lié à l'environnement thermique dans mon espace de travail
- Non, je peux travailler sans inconfort malgré des variations thermiques remarquables

**38. Avez-vous déjà toléré votre inconfort thermique au profit du confort d'une partie du groupe occupant le même espace ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**39. Si vous avez répondu oui à la dernière question, pour quelle(s) raison(s) ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)**

- J'ai préféré m'adapter à l'environnement qu'adapter l'environnement à mon confort individuel
- Je n'ai pas la possibilité d'agir sur les conditions thermiques de l'environnement
- Je ne souhaitais pas manifester mon inconfort thermique
- Je ne souffrais pas de mon inconfort thermique

8 sur 9

Autre(s) :

.....  
.....

Veuillez répondre aux questions suivantes uniquement si vous êtes une femme

**40. Êtes-vous enceinte?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**41. Si vous avez répondu oui à la dernière question,**

**a. Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre grossesse ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**b. Si oui, sous quelle forme cela se manifeste ?**

- J'ai tendance à avoir chaud
- J'ai tendance à avoir froid
- Les deux
- Autre(s) :

.....  
.....  
.....

**42. Vos sensations thermiques sont-elles impactées par votre cycle féminin ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**43. Si vous avez répondu oui à la dernière question, à quel moment du cycle cela se manifeste ?**

- Lors de la phase menstruelle
- Lors de la phase folliculaire (celle qui suit la phase menstruelle)
- Lors de la phase d'ovulation (celle qui suit la phase folliculaire)
- Lors de la phase lutéale (celle qui suit la phase d'ovulation et précède la phase menstruelle)<sup>2</sup>
- Je ne sais pas préciser lors de quelle phase cela se manifeste

**44. Si vous êtes en période de péri-ménopause ou ménopausée, avez-vous observé un impact sur vos sensations thermiques ?**

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Je ne souhaite pas répondre

**45. Si vous avez répondu oui à la dernière question, sous quelle forme cela se manifeste ?**

- J'ai tendance à avoir chaud
- J'ai tendance à avoir froid
- Les deux
- Autre(s) :

.....  
.....  
.....

<sup>2</sup> C'est lors de cette phase que peuvent se manifester certains symptômes du syndrome prémenstruel

# Annexe 5 : Fiches descriptives et de consentement

## Enquête : la perception du confort thermique au sein d'un aménagement en open-space

### Description de la recherche

Enquête évaluative du confort thermique au sein d'un open-space

*Par Léa Bartholomé*

L'enquête qui suit évalue votre confort thermique en période hivernale. Partant d'une enquête standardisée existante sur le confort thermique, l'objectif de cette nouvelle version est d'ajouter une dimension inclusive des genres. Cette recherche s'articule autour d'une partie quantitative et d'une partie qualitative. L'espace de travail est soumis à l'évaluation de ses paramètres physiques (température, vitesse et humidité de l'air) via un appareil de mesure spécifique. Il s'agit de la partie quantitative. Quant à la partie qualitative, elle est supportée par l'enquête qui suit.

Un premier questionnaire est à compléter le jour du placement de l'appareil de mesure et récolté après maximum 20 minutes. A priori, il ne devrait pas prendre plus de 15 minutes. L'étude porte sur la corrélation des résultats avec le genre. Les données sont analysées au travers d'une vision systémique d'un groupe partageant le même environnement thermique. L'étude ne porte donc pas sur l'individu en tant que tel, mais cherche à conclure sur la différence ou non de perception du confort thermique entre les genres et de la nécessité ou non de l'intégrer dans un questionnaire adapté.

Un deuxième questionnaire est à compléter lors de l'enlèvement de l'appareil de mesure. Celui-ci résultera de modifications de la première version par suite d'une analyse statistique.

Des photographies pourront être prises et utilisées selon le consentement déclaré (voir page suivante) afin d'illustrer la méthodologie appliquée dans la recherche. Le traitement des données suit le règlement général sur la protection des données (RGPD). Aucune des données communiquées ne sera transmise à un tiers. Celles-ci resteront confidentielles et anonymisées. Après la réalisation de la recherche, les données seront supprimées des bases de données appartenant à la chercheuse.

## Enquête : la perception du confort thermique au sein d'un aménagement en open-space

---

### Consentement éclairé de participation à la recherche

**Veillez lire attentivement cette page**

Titre de la recherche	La différence de perception du confort thermique entre les genres au sein des aménagements en open-space
Cadre de la recherche	Réalisation d'un travail de fin d'étude pour le master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine
Chercheuse responsable	BARTHOLOMÉ Léa
Promoteur	ATTIA Shady
N° de téléphone de contact	0494/17.64.21

Je soussigné ..... déclare :

- avoir reçu, lu et compris la fiche descriptive de la recherche pour laquelle le titre et la chercheuse responsable sont indiqués ;
- avoir eu l'occasion de poser des questions sur cette recherche et avoir reçu toutes les informations que je souhaitais.

Je sais que :

- je peux à tout moment mettre un terme à ma participation sans obligation de motiver ou de justifier ma décision et cela en ne subissant aucun préjudice ;
- je peux contacter le/la chercheur.se pour toute question ou insatisfaction relative à ma participation à la recherche ;
- mes données personnelles ne seront traitées que sous une forme anonymisée dans la recherche.

J'autorise dans les représentations qui suivent :

- photographie avec visage apparent ;
- photographie sans visage apparent ;
- je n'autorise aucune photographie.

**Je donne mon consentement libre et éclairé à participer en tant que sujet à cette recherche.**

Lu et approuvé,

Date et signature

## **Annexe 6 : Data Management Plan et application du RGPD**

### Compléments d'information : application du RGPD et approbation éthique

Si l'un des participants souhaite corriger l'une de ses réponses, le chercheur s'engage à modifier les données encodées dans les plus brefs délais. Afin de reconnaître le formulaire propre à l'individu demandant une telle modification, le chercheur devra sceller le dossier sécurisé contenant les formulaires papier, et reprendre les copies afin d'identifier la feuille de consentement jointe au formulaire de réponses de l'individu. La feuille de consentement jointe au questionnaire permet d'identifier l'individu après que les données aient été rendues anonymes dans le format Excel codé. La même procédure d'identification est suivie si un répondant déclare au chercheur qu'il souhaite se retirer de la recherche.

La protection de l'identité visuelle des personnes interrogées est garantie par le respect du consentement donné. En outre, sur les photos prises in situ, le chercheur s'engage à flouter tous les visages des répondants ceux-ci n'étant pas nécessaires à la réalisation de la recherche.

Pendant la durée de la recherche, le stockage des données est limité à une plateforme accessible en ligne sur le cloud one-drive fourni et sécurisé par les services Microsoft. En cas de fuite de données communiquée par le serveur, le chercheur s'engage à prévenir l'entreprise ayant participé à la recherche dans les 72 heures, et s'engage à réagir conformément aux souhaits des participants.

Les données stockées ne sont disposées qu'au sein de l'Union européenne, en Belgique en particulier. La possibilité de déplacer des données est garantie par le format papier de l'enquête. Les formulaires peuvent être déplacés selon les besoins du chercheur, à condition qu'un système de stockage sécurisé (armoire fermée à clé) soit en place. Les fichiers Excel utilisés pour encoder les réponses et collecter les mesures quantitatives in situ sont stockés sur le cloud et peuvent être consultés par le chercheur en tout lieu, après identification sécurisée, à l'aide d'un ordinateur, d'une tablette ou d'un téléphone portable approprié.

Le chercheur s'engage à supprimer tous les fichiers de recherche de toutes les bases de données 3 ans après la défense du mémoire de master. Les données sont effacées du cloud après la délibération. Elles sont ensuite stockées sur un disque dur personnel. Cette période permet au chercheur d'utiliser les données uniquement à des fins de relecture, de vérification ou d'approfondissement des recherches destinées à remplir les objectifs explicitement communiqués aux répondants.

Au fil du temps, les données stockées peuvent avoir été formatées sous une version devenue obsolète. Pour éviter de rendre les données inaccessibles, le chercheur s'engage à migrer les données vers le format applicable le plus récent.

Dans le cadre de cette recherche, une approbation éthique du comité d'éthique de l'Université de Liège n'était pas nécessaire. Mme Thiry, conseillère juridique dans

le service des affaires juridiques de l'Université de Liège, a confirmé que seuls les travaux soumis à une publication scientifique future nécessitent une approbation du comité d'éthique. Cependant, le questionnaire engageant d'avoir recours à la participation d'humains dans la recherche, les principes éthiques de la Déclaration d'Helsinki sont à suivre. Bien que cette déclaration est principalement adressée aux recherches du personnel médical, il est recommandé d'en suivre les principes.

## Data Management Plan

### *1. Data description and collection*

#### **What TYPE of data will be collected or produced?**

Two types of data are collected. First, personal qualitative data from surveys are collected. The second types result in the collection of quantitative measurements using a probe in situ.

#### **What is the FORMAT of the data that you will collect or create?**

For the qualitative data, they are collected through paper version format. For the quantitative data, they are collected in Excel files format.

#### **What is the expected SIZE/VOLUME of the data that you will collect or create?**

The expected number of qualitative surveys collected is at least 70 surveys producing at least 3500 answers. The quantitative measurement is set to register the environment parameters (4) every 30 minutes during 13 days. In average, 3120 variations in four parameters are recorded.

Here is the expected size of the collected data :

- Excel files : 2,7 Mo
- Pdf files : 6 Mo

#### **How will new data be collected or produced and/or how will existing data be re-used?**

No new data will be collected or produced. The existing data could be re-used only if they are used for the primary purpose of the research and if they have been anonymized.

#### **What data quality control measures will be used?**

The data provided by the questionnaires will be checked for relevance by the researcher. Questionnaires containing more than one absurd answer will be discarded from the database. By absurd, we mean answers that contain an obvious error for the researcher regarding established facts such as the season, the outside temperature, etc. For the quantitative measurements, a scheduled probe launch test is carried out before the research measurement program gets underway.

### *2. Metadata and Documentation*

#### **What metadata and documentation will accompany the data?**

The data collected is processed to provide some results by statistical analysis on the perception of the thermal comfort of the employees of the company tested. Correlations are made between the satisfaction expressed by the respondents and the other variables in the questionnaire, such as gender, clothing, length of time on the premises, and so on.

### *3. Legal and ethical requirements*

#### **How will you manage any ETHICAL issues, if any?**

If any ethical problems are encountered before the survey is submitted, it will be reformulated in order to obtain the agreement of the ethics committee. If ethical problems are encountered after the survey has been submitted, the questions raising the problems will not be considered for research and the data collected relating to these questions will be deleted from any of the researcher's databases. In the case of this study, the small sample size and anonymization meant that ethics committee approval was not required. The scientific approach was explained to Ms Thiry's legal department in order to validate the file and obtain a preventive and informative opinion on the subject.

#### **Will you collect or process personal data?**

Yes, personal data are collected and processed after being anonymized.

#### **If you collect or process personal data, you have to submit a GDPR record. Do you confirm that you are aware of the requirements that the GDPR legislation implies for researchers?**

I confirm that I am aware of the requirements of the GDPR legislation.

#### **Do you make use of (or do you have to comply with) any sectorial/departmental PROCEDURES for data management?**

No, the data collected for the research are owned by the researcher under the supervision of the promotor, Dr Shady Attia.

### *4. Storage, backup and security*

#### **How will data and metadata be stored and backed up during the research?**

Data will be stored as computer files on a cloud server. The personal one drive cloud of the researcher is used. It is provided and secured by Microsoft services. The paper format files of surveys are stored in a secured lockable safe.

#### **How will data security and protection of sensitive data be taken care of during the research?**

The cloud is accessible only through the researcher personal password and login. The Microsoft's One cloud server permits the backup of the files.

### *5. Data sharing and long-term preservation*

**How will data for preservation and sharing be selected, and where data will be preserved long-term (for example a data repository or archive)?**

The data shared and preserved will be presented in the master thesis report according to the relevance of the answers of the respondent and the relevance of the results of the statistical analysis. All data files specific to the research will be deleted from the cloud after the publication of the thesis. The data will be preserved long term on a hard drive belonging to the researcher.

**How and when will data be shared? Are there possible restrictions to data sharing or embargo reasons? If there are restrictions, how will access be provided?**

The data collected will not be shared. However, the data processed and the results through the statistical analysis will be shared with the scientific community on MatheO. It will be contained in the master thesis document of the researcher in a pdf format file. There will have no restrictions to access the file.

*6. Data management responsibilities and resources*

**Who (for example role, position) will be responsible for data management?**

The researcher will be responsible for data management. The researcher is a student producing a master's thesis under the supervision of Dr. Shady Attia at the University of Liège

**What resources (for example financial and time) will be dedicated to data management?**

No financial resources are engaged in this master thesis research. Equipment allowing the collection of certain physical measurements of the place is lent to the student by the promoter for the duration of the data collection. The student dedicates time to data management as part of the course curriculum, which includes around 600 hours of work to be devoted to the successful completion of the master thesis.

## Annexe 7 : Résultats complémentaires

Tableau A.7 - 1 : Tableau de répartition des effectifs et des fréquences des répondants selon les tranches d'âge considérées (selon la population totale)

Tranche d'âge	Genre	Effectif	Fréquence (%)
De 21 à 30 ans	Femmes	6	9,5
	Hommes	15	23,8
De 31 à 40 ans	Femmes	4	6,3
	Hommes	7	11,1
De 41 à 50 ans	Femmes	5	7,9
	Hommes	13	20,6
De 51 à 60 ans	Femmes	2	3,2
	Hommes	9	14,3
De 61 à 70 ans	Femmes	0	0
	Hommes	1	1,6
De 71 à 80 ans	Femmes	0	0
	Hommes	1	1,6

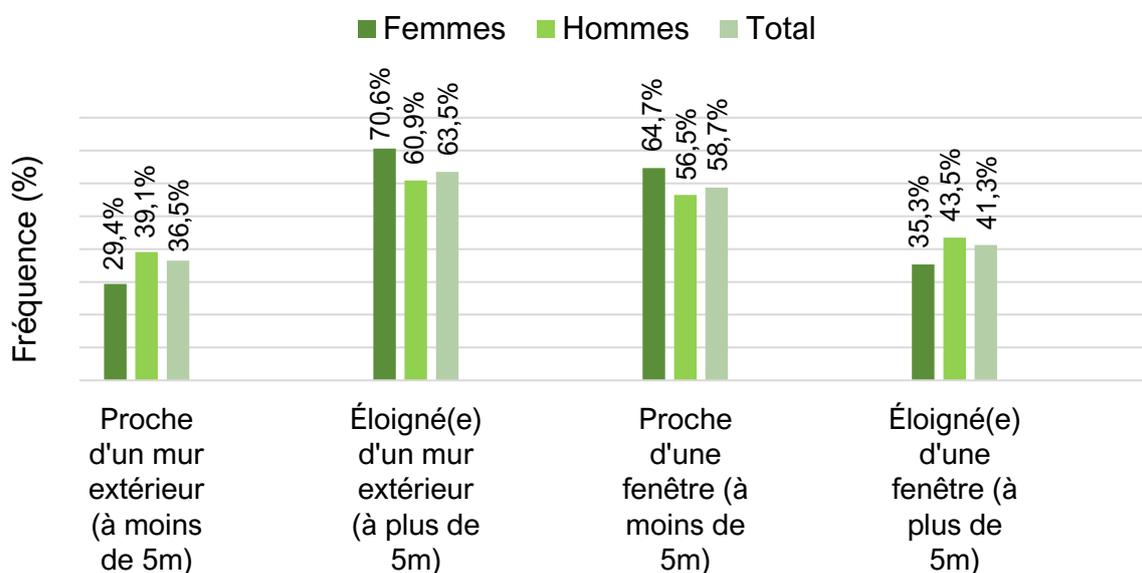


Figure A.7 - 1: Histogramme de répartition des répondants selon leur proximité à un mur extérieur ou à une fenêtre

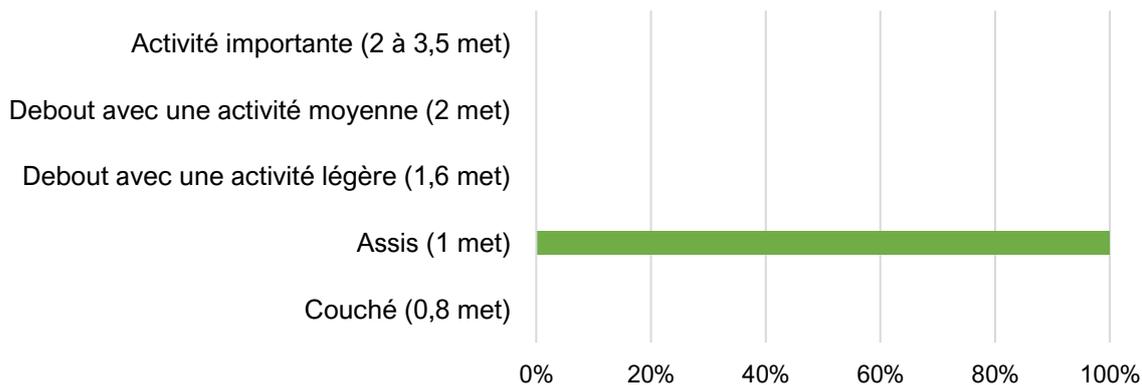


Figure A.7 - 2: Histogramme de répartition des répondants selon leur niveau d'activité

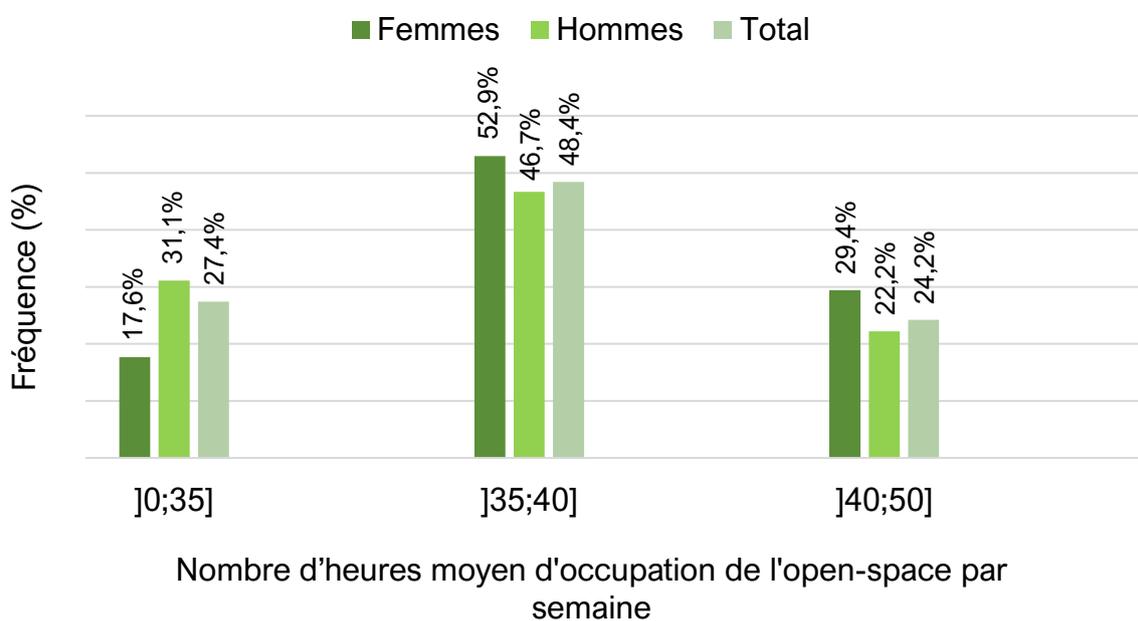


Figure A.7 - 3 : Histogramme de répartition du nombre moyen d'heures passées dans l'open-space selon le genre

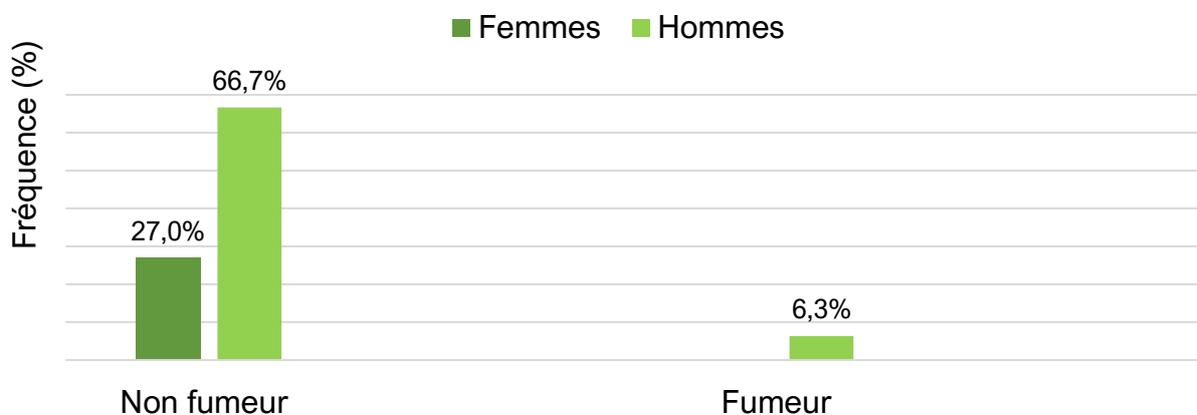


Figure A.7 - 4 : Histogramme de répartition des fumeurs et non-fumeurs selon le genre

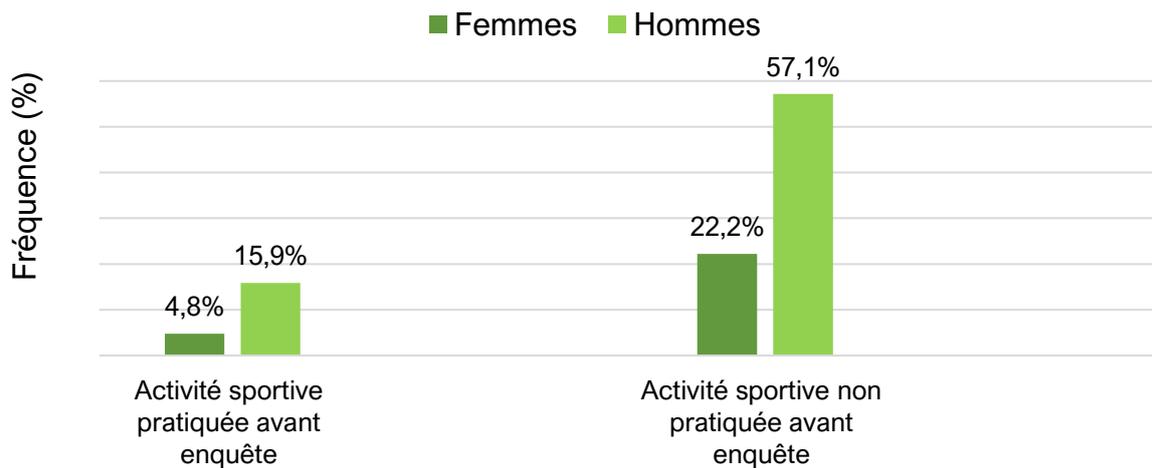


Figure A.7 - 5 : Histogramme de répartition des répondants selon l'activité sportive pratiquée ou non avant l'enquête et le genre

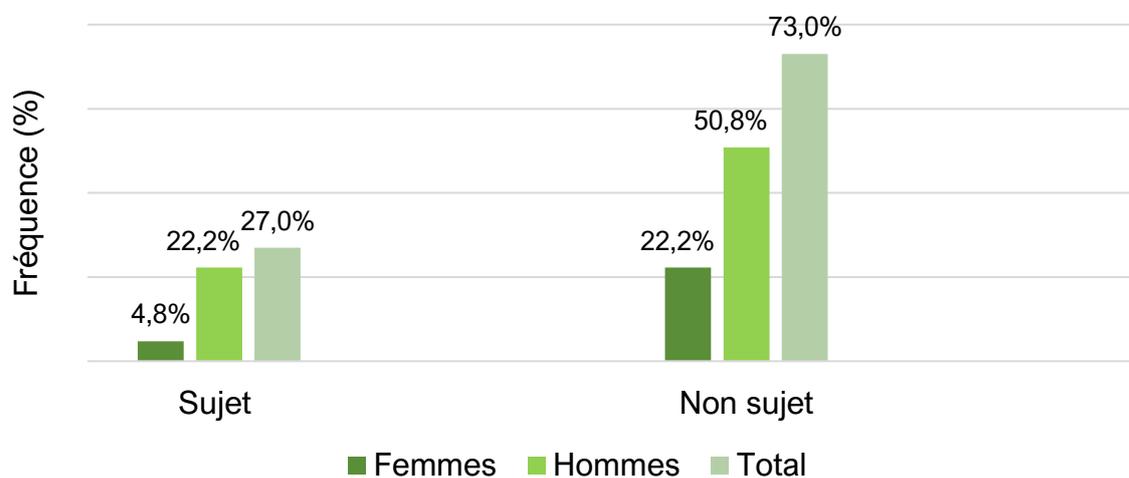


Figure A.7 - 6 : Histogramme de répartition des répondants selon le genre et les sujets à troubles du sommeil

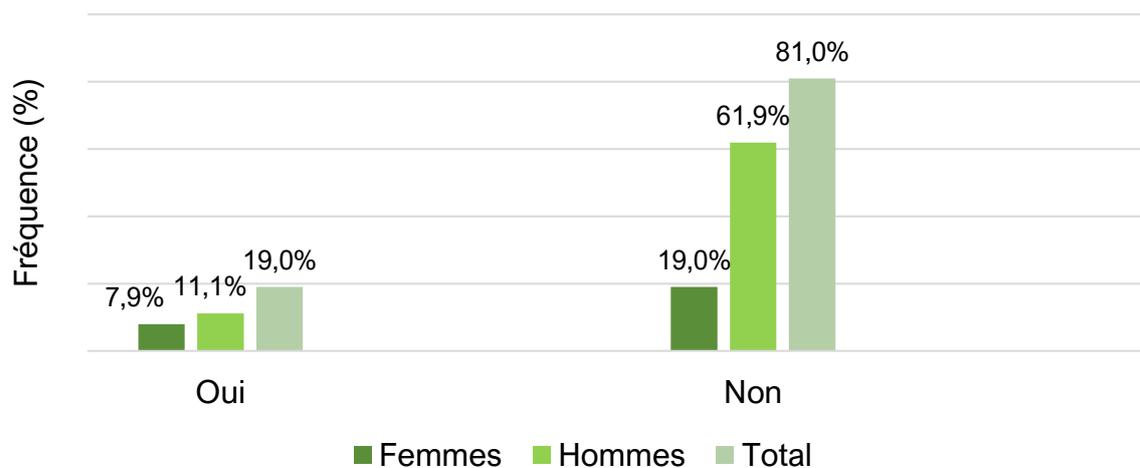


Figure A.7 - 7 : Histogramme de répartition des genres en phase de digestion ou non

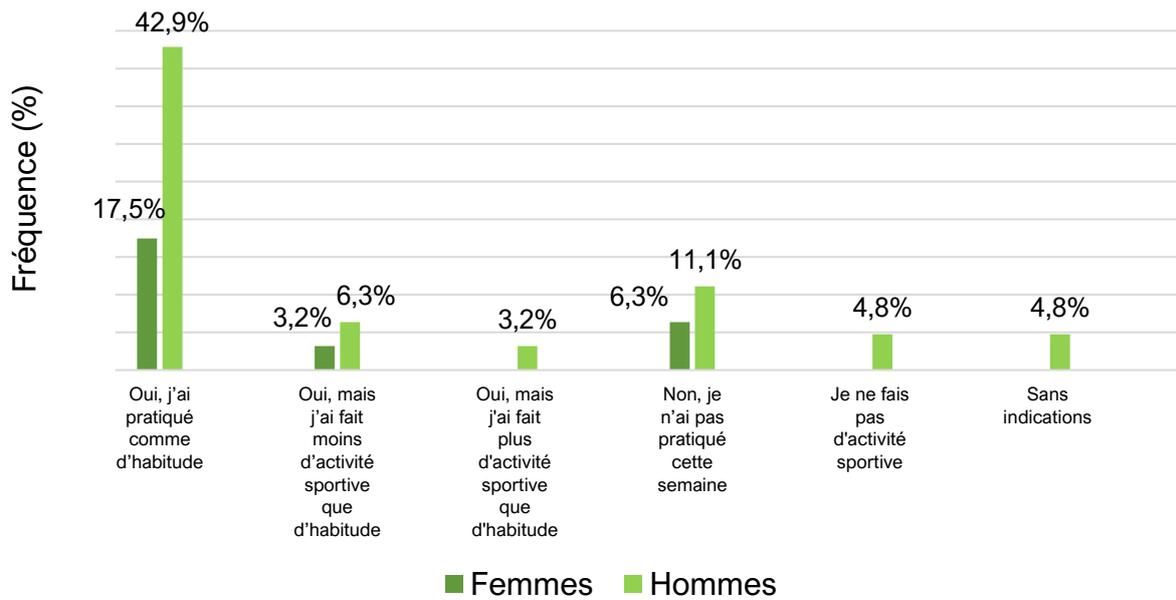


Figure A.7 - 8: Histogramme de répartition des répondants selon leur pratique sportive de la semaine et leur genre

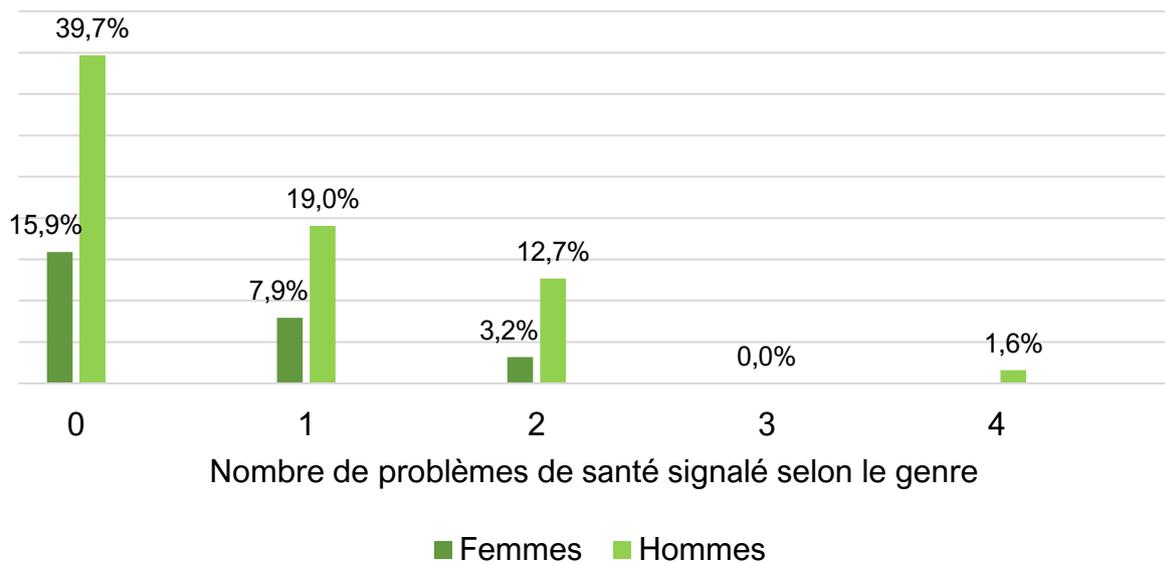


Figure A.7 - 9 : Histogramme de répartition des répondants selon le nombre de problèmes de santé signalés et le genre



Les données traitées sont celles des **questions 2 et 9**.



Les **63 répondants** admissibles à la recherche sont considérés.

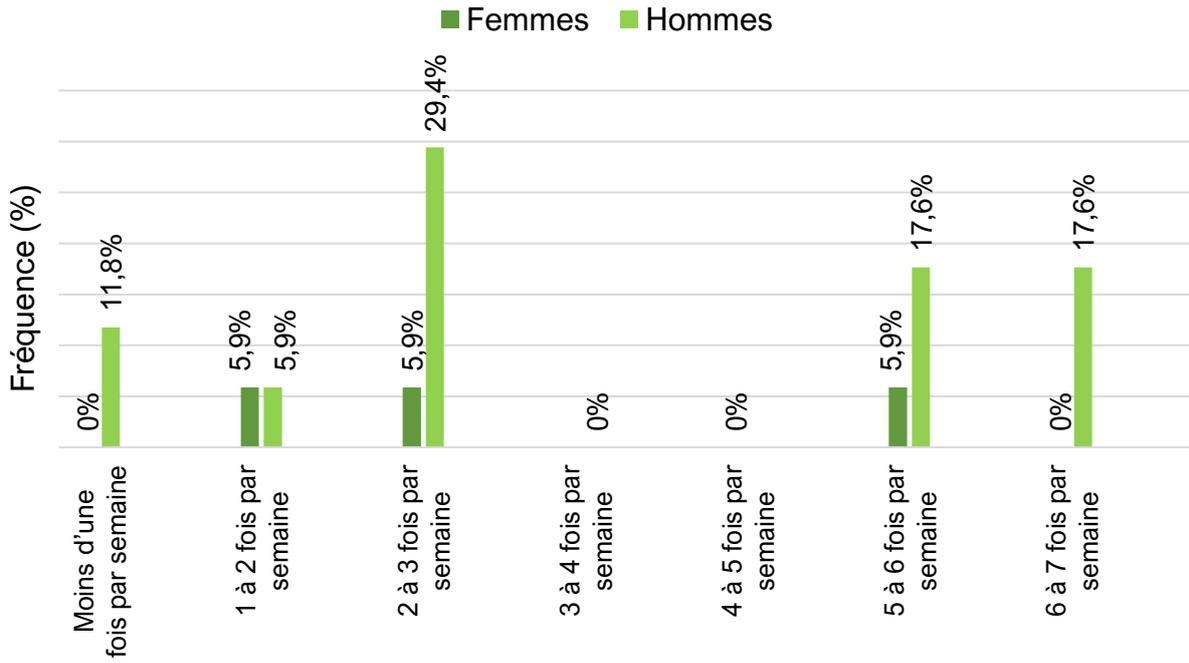


Figure A.7 - 10 : histogramme de répartition des répondants sujets à troubles du sommeil selon leur genre et la fréquence des troubles

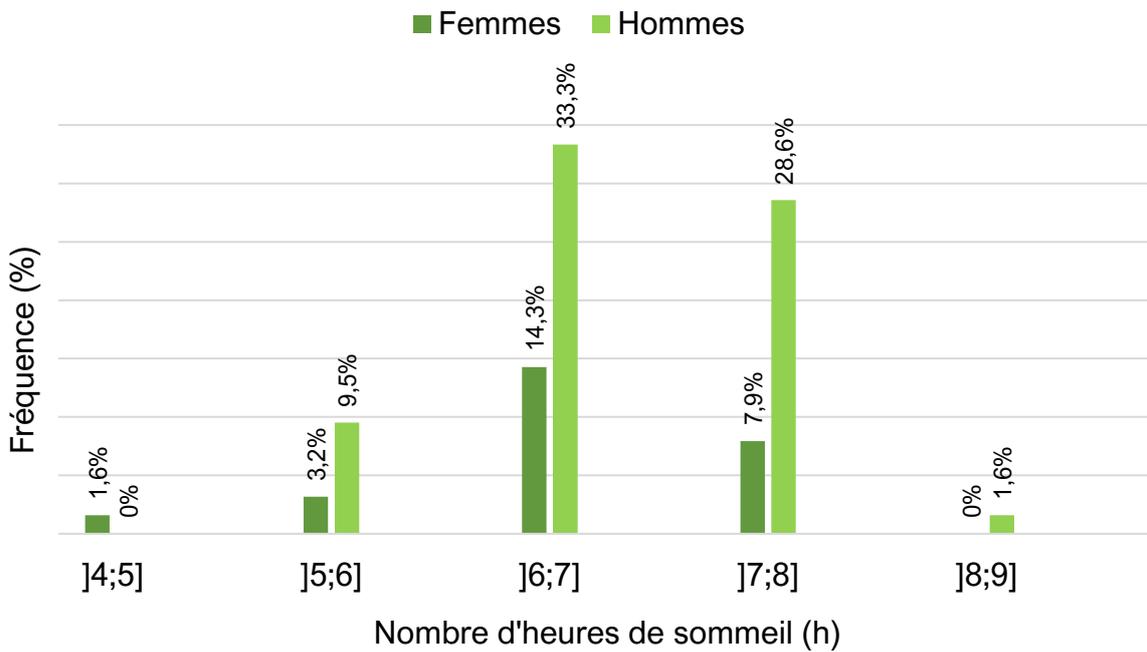


Figure A.7 - 11 : Histogramme de répartition de répondants selon leur genre et le nombre d'heures de sommeil journalier moyen

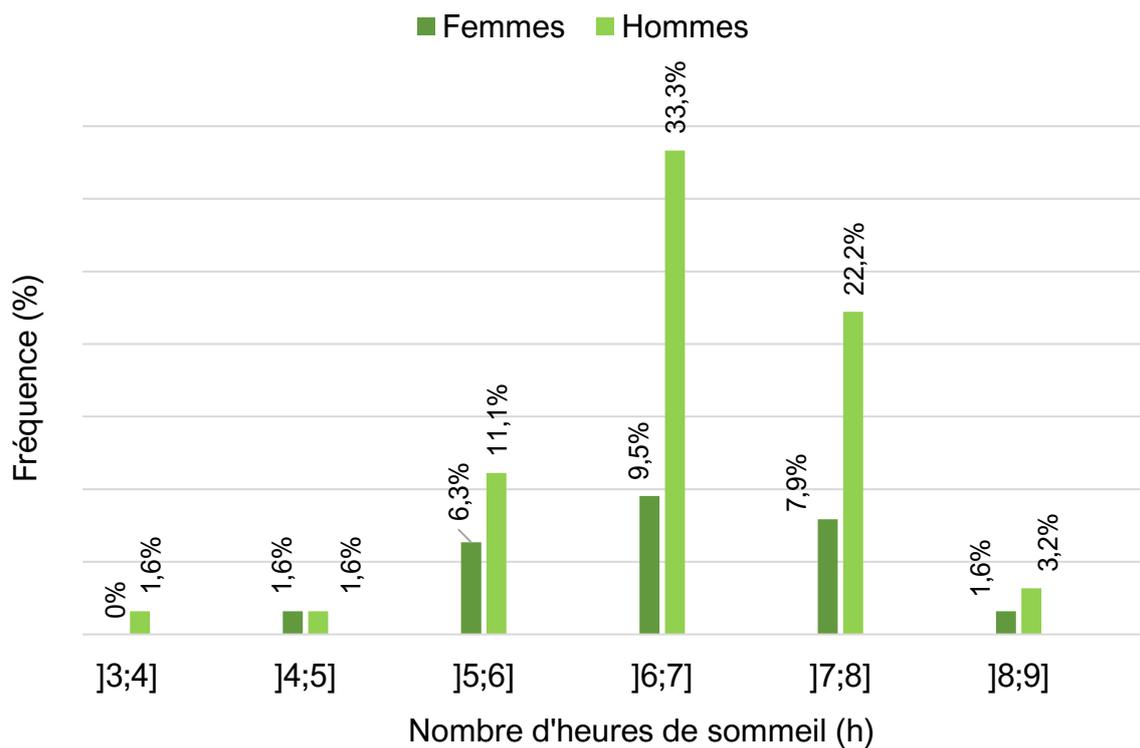


Figure A.7 - 12 : Histogramme de répartition de répondants selon leur genre et le nombre d'heures de sommeil de la nuit précédente

*"Il semblerait que les conditions thermiques impactent la productivité."*

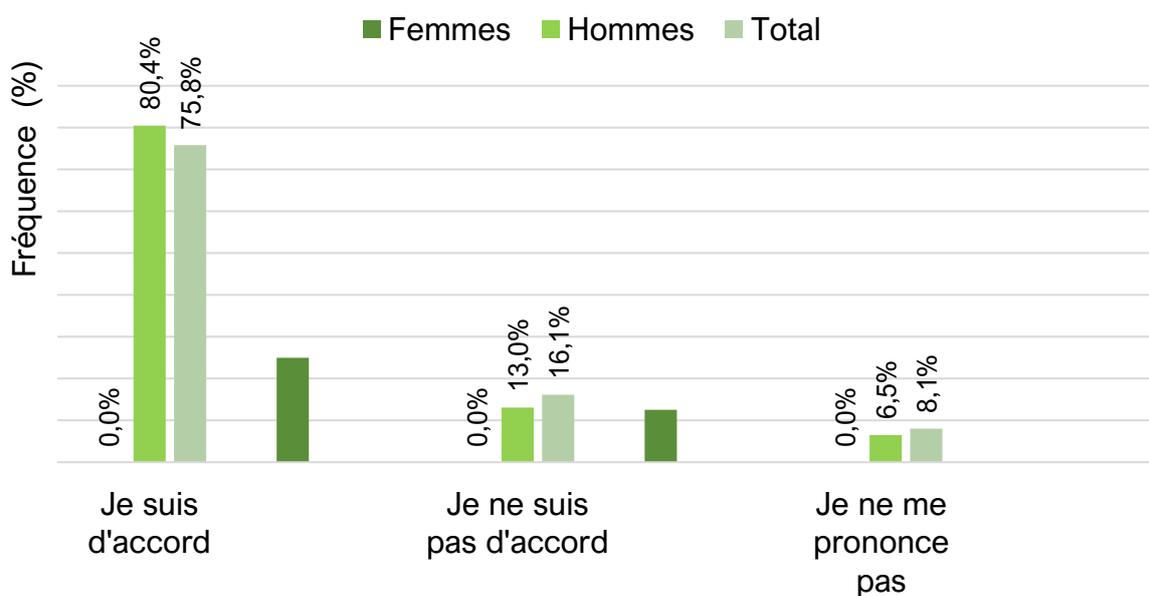


Figure A.7 - 13 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la première affirmation

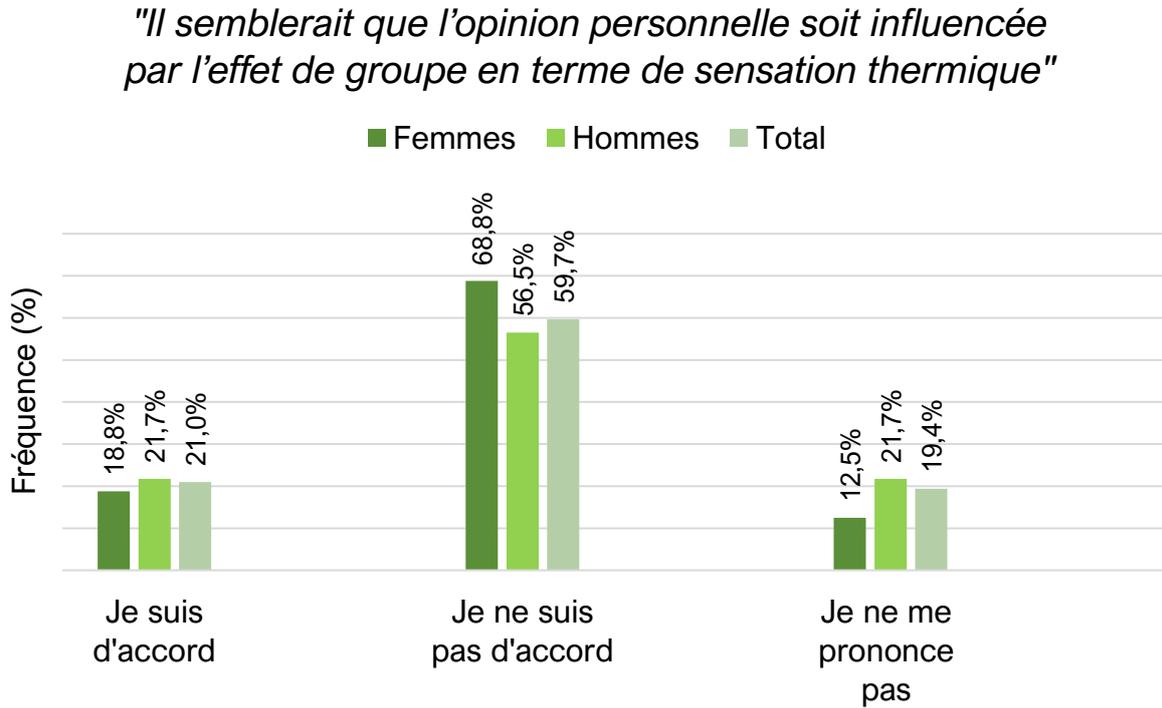


Figure A.7 - 14 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la deuxième affirmation

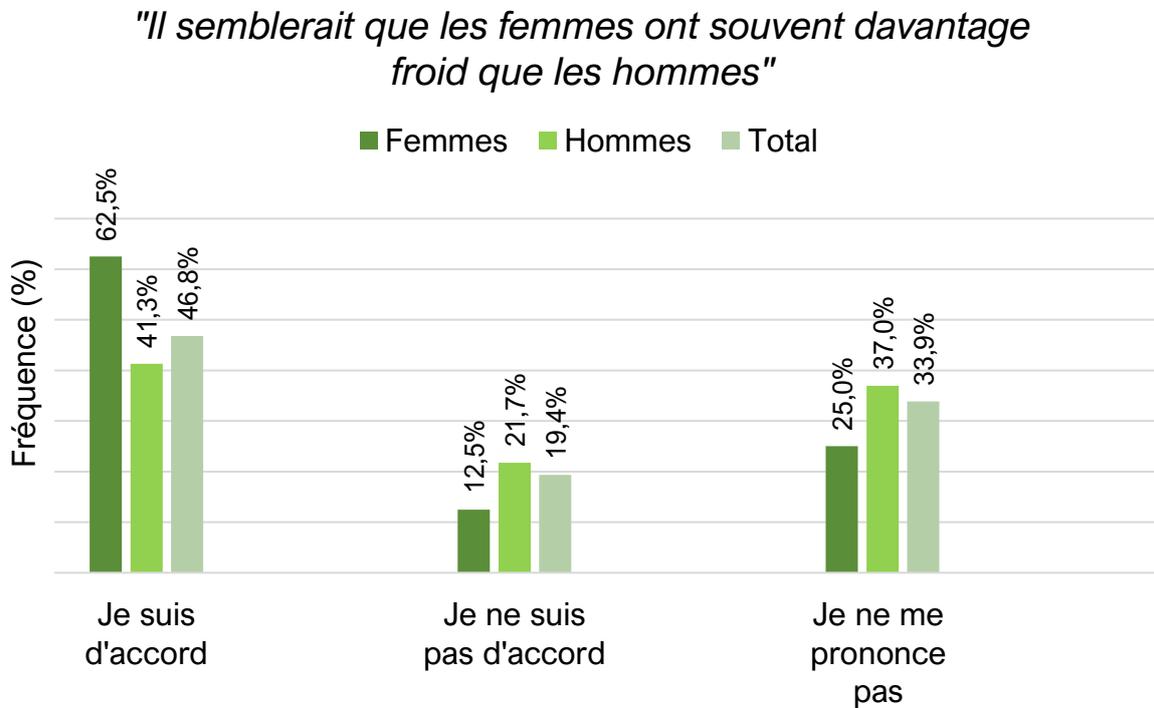


Figure A.7 - 15 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la troisième affirmation

*"Il semblerait que les hommes ont souvent davantage chaud que les femmes"*

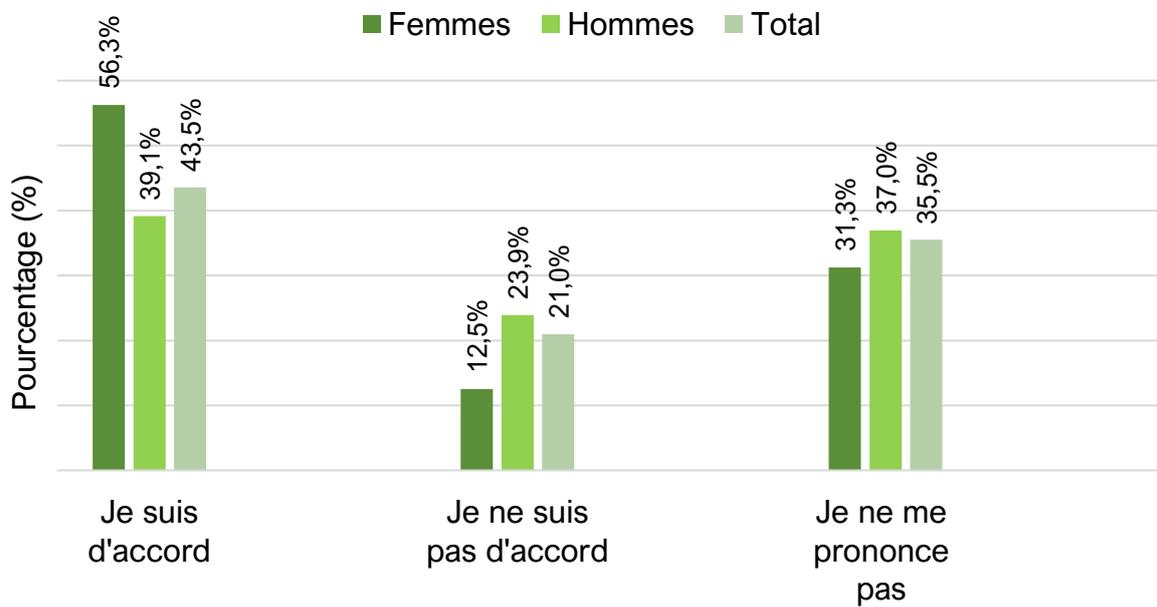


Figure A.7 - 16 : Histogramme de répartition des répondants selon leur réponse et leur genre à la troisième affirmation

# Annexe 8 : Affiche du laboratoire SBD



## La prise en compte des genres dans la perception du confort thermique en période hivernale : révision d'une enquête standardisée

Authors: Léa Bartholomé

E-mail: [Lea.Bartholome@student.uliege.be](mailto:Lea.Bartholome@student.uliege.be)  
Address: Sustainable Building Design Lab  
Quartier Polytech 1  
Allée de la Découverte 9  
4000 Liège, Belgium  
[www.sbd.ulg.ac.be](http://www.sbd.ulg.ac.be)  
Tel: +32 43.66.91.55  
Fax: +32 43.66.29.09

### RÉSUMÉ

La recherche s'articule autour d'une approche centrée sur la réalisation d'une enquête de bien-être. L'objectif est d'évaluer la différence de la perception du confort thermique entre les genres en hiver dans des espaces de bureaux paysagers (open space). La collecte de données est organisée autour d'une partie quantitative et d'une partie qualitative. Un autre objectif de la recherche inhérent au premier est d'évaluer la pertinence d'intégrer davantage les différences de genre dans un questionnaire standardisé servant de référence (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020). L'espace de travail fait l'objet d'une évaluation de ses paramètres physiques (température, vitesse et humidité de l'air) via un appareil de mesure spécifique. Il s'agit de la partie quantitative. Quant à la partie qualitative, elle est étayée par l'enquête soumise aux répondants. L'analyse statistique détaillée des résultats permet de fournir une réponse concluante à la question de recherche posée soit la pertinence d'intégrer ou non davantage de paramètres intrinsèques aux sexes dans l'évaluation du confort thermique.

### MOTS-CLÉS

Confort thermique, Genre, Enquête, Open space, Normes, Conditions de travail

### PROBLÉMATIQUE

Les enjeux du réchauffement climatique invitent à agir dans la diminution des consommations énergétiques du secteur du bâtiment. Le confort thermique doit être pensé conjointement aux enjeux climatiques et sociaux afin de fournir des solutions concrètes à la garantie d'un espace confortable, accessible pour tous et respectueux de l'environnement. L'histoire de la prise en compte de la femme dans la recherche scientifique interroge la validité des théories empiriques du confort thermique les plus répandues. Les normes actuelles se basent sur ces théories empiriques, mais n'apportent aucune indication vis-à-vis de la prise en considération du sexe dans les équations. De plus, les études antérieures ne spécifient pas souvent les hypothèses posées dans l'exclusion de la prise en compte des paramètres intrinsèques aux genres lors des évaluations par enquêtes in situ.

### HYPOTHÈSES/OBJECTIFS

La recherche prend comme référence les questionnaires issus de l'ANSI/ASHRAE Standard 55 (2020). Elle étudie seulement le confort thermique en période hivernale. Le type d'espace étudié est un open space de deux niveaux contenant environ 170 postes de travail en Belgique. L'objectif principal de la recherche est de pouvoir tirer des conclusions à l'échelle de la population sur la significativité de la différence entre les hommes et les femmes dans leur confort thermique. L'objectif secondaire est de proposer une nouvelle structure de questionnaire plus complète d'évaluation du confort thermique des occupants.

### AUDIENCE

L'audience visée par ce travail est constituée des usagers de bureaux, des propriétaires de bureaux, des architectes, des étudiants en architecture, des chercheurs scientifiques, des gestionnaires de bâtiment et des bureaux d'étude.

### QUESTIONS DE RECHERCHE

Quelle est la pertinence d'intégrer davantage la dimension inclusive de la différence des genres au sein d'une enquête de satisfaction liée au confort thermique ?

1. Quelles sont les courbes de températures, de vitesse de l'air et d'humidité relative de la période étudiée ?
2. Quels sont les profils d'usagers interrogés au sein du bâtiment ?
3. Quels sont les ressentis des usagers au sein du lieu ?
4. Une différence entre les genres se marque-t-elle dans les résultats ?
5. Quelle est la pertinence d'intégrer cette éventuelle différence dans l'enquête standardisée et comment améliorer la qualité de son intégration ?

### VALEUR AJOUTÉE

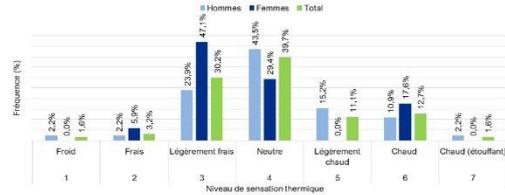
L'étude propose une trame innovante dans la prise en considération des facteurs intrinsèques au cycle féminin dans l'élaboration du questionnaire. Elle innove aussi par une remise en question des enquêtes issues de la norme ANSI/ASHRAE Standard 55, 2020. L'analyse statistique opérée permet de définir la pertinence d'intégrer les questions ajoutées à grande échelle pour mieux évaluer le confort thermique des occupants du bâtiment. La méthodologie est reproductible pour évaluer l'impact de tout autre paramètre potentiellement lié au confort thermique (exemple : la qualité de sommeil, la phase digestive de l'occupant, etc).

### MÉTHODOLOGIE

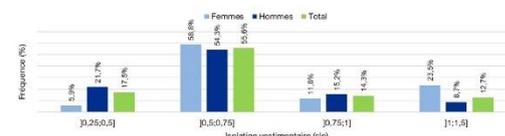
La méthodologie se structure en 6 grandes phases : la préparation, l'enquête pilote, la collecte de données, le traitement et l'analyse des données et la discussion des résultats. La phase de préparation englobe toutes les étapes préalables à la mise en pratique de la collecte de données. L'enquête pilote est la phase de test préliminaire du questionnaire élaboré sur un échantillon réduit. Elle permet la vérification de la validité du questionnaire qui sera soumis dans l'espace de l'open space. La collecte de données est englobée par la mesure des données quantitatives du lieu à l'aide de sondes spécifiques. En parallèle de la récolte quantitative, les questionnaires sont soumis aux occupants afin de recueillir une série de données qualitatives et quantitatives liées à leur confort thermique. Une fois les données récoltées, elles sont traitées à l'aide de tests statistiques. L'analyse de ces résultats amène une discussion de la pertinence d'opérer une modification définitive du questionnaire standardisé.

### RÉSULTATS

Parmi les variables testées en lien avec le confort thermique, seules deux d'entre elles ont montré une différence significative entre les hommes et les femmes. Il s'agit de la sensation thermique exprimée sur une échelle allant de « chaud » à « froid » et l'habillement (=isolation thermique des vêtements) des répondants. Le niveau de confort thermique exprimé sur une échelle allant de « très confortable » à « très inconfortable » ne s'est pas avéré significatif d'une différence entre les genres. Le constat est le même pour la satisfaction à la température de l'air exprimée sur une échelle allant de « très satisfait » à « très insatisfait ». Les résultats de l'étude ne sont pas significatifs de la population à cause de la taille de l'échantillon concerné dans l'étude. Ils sont uniquement représentatifs de l'échantillon testé. Les données des questions ajoutées sur les paramètres intrinsèques au cycle féminin n'ont pu être traitées par manque de données.



Histogramme de répartition : sensation thermique exprimée selon le genre



Histogramme de répartition : habillement selon le genre

### CONCLUSION

Ces résultats entament une première démarche issue de la problématique énoncée. Il est vivement recommandé d'effectuer une recherche complémentaire à plus grande échelle de l'impact des caractéristiques intrinsèques aux femmes sur leur confort thermique. Ceci permettrait de fournir une conclusion valide pour la théorie du confort thermique quant à la pertinence de prendre en considération ces paramètres dans les questionnaires et les équations empiriques.

### PRINCIPALES RÉFÉRENCES

- ANSI/ASHRAE Standard 55, (2020). *Thermal, Environmental Conditions for Human Occupancy* (ISSN 1041-2336; ANSI/ASHRAE Standard 55-2020). Standing Standard Project Committee (SSPC). Atlanta, United States  
[https://store.accuristech.com/ashrae/standards/ashrae-55-2020?product\\_id=2207271](https://store.accuristech.com/ashrae/standards/ashrae-55-2020?product_id=2207271)
- ISO 7730, (2005). *Ergonomie des ambiances thermiques—Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local* (Version 3). Genève, Suisse.  
<https://www.iso.org/fr/standard/39155.html>
- Maykot, J. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy and Buildings*, 178, 254-264.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.033>



Figure A.8 - 1 : Poster synthétique de la recherche