

École polytechnique de Louvain

Quantification du potentiel d'une pratique de Slowheating en kot à l'UCLouvain

Auteur: **Loïc LIEUTENANT**

Promoteurs: **Geoffrey VAN MOESEKE, Francesco CONTINO**

Lecteurs: **Zakarie BRUYR, Denis DE GRAVE**

Année académique 2023–2024

Master [120] : ingénieur civil mécanicien

Abstract

Version française :

Ce mémoire s'intéresse à la quantification du potentiel d'une pratique de Slowheating dans les logements étudiants à l'UCLouvain. Dans un contexte de crise climatique importante, les réductions de consommation énergétique liées au secteur résidentiel sont cruciales. La solution souvent proposée est l'efficacité thermique des bâtiments mais une telle approche présente des limites budgétaires, matériel et de main-d'oeuvre pour un résultat fortement impacté par l'effet rebond direct. Dès lors, développer la sobriété ou la suffisance énergétique est une piste intéressante, mais peu répandue. Dans le monde étudiant, celle-ci se manifeste le plus souvent sous forme de compétition, ce qui laisse planer un doute sur son efficacité à long terme. Le Slowheating est une pratique de chauffage qui consiste à équiper les occupants d'un bâtiment le plus efficacement pour que ceux-ci puissent choisir une température intérieure moyenne la plus basse possible et ainsi obtenir des réductions de consommation de chauffage importantes. Dans ce travail, un kot étudiant a été suivi pendant l'hiver 2023-2024 au cours duquel les occupants ont choisi une température intérieure moyenne de 15.51 [°C] dans l'ensemble du logement et une température intérieure moyenne comprise entre 15.91 [°C] et 13.54 [°C] dans leur chambre respective pendant les deux mois les plus froids. Ce choix a permis une réduction de la consommation d'énergie comprise entre 30% et 51%. Les comportements observés, principalement la présence et le choix de température, ont été retranscrits dans un logiciel de simulation thermique des bâtiments (TRNSYS) pour confirmer ces résultats dans un kot représentatif de l'UCLouvain. Le modèle informatique qui vient corroborer les résultats obtenus lors de l'expérience montre qu'il est équivalent de pratiquer le Slowheating uniquement dans les espaces communs ou uniquement dans les chambres et met en évidence que l'isolation PEB réglementaire belge atteint des résultats strictement inférieurs.

English version :

This master thesis focuses on quantifying the potential of a Slowheating practice in student housing at UCLouvain. In the context of a significant climate crisis, reductions in energy consumption related to the residential sector are crucial. The commonly proposed solution is the thermal efficiency of buildings, but such an approach presents budgetary, material, and labor limits, with results significantly impacted by the direct rebound effect. Therefore, developing energy sobriety or sufficiency is an interesting yet seldom-explored avenue. In the student world, this often manifests as a competition, raising doubts about its long-term effectiveness. Slowheating is a heating practice that involves equipping building occupants as efficiently as possible so that they can choose the lowest possible average indoor temperature, thereby achieving significant reductions in heating consumption. In this work, a student apartment was monitored during the winter of 2023-2024, during which occupants chose an average indoor temperature of 15.51 [°C] throughout the dwelling and an average indoor temperature between 15.91 [°C] and 13.54 [°C] in their respective rooms during the two coldest months. This choice led to a reduction in energy consumption between 30% and 51%. The observed behaviors, mainly presence and temperature choice, were transcribed into a building thermal simulation software (TRNSYS) to confirm these results in a representative UCLouvain student apartment. The computer model, which confirms the results obtained during the experiment, shows that practicing Slowheating only in common areas or only in rooms is equivalent and highlights that the Belgian regulatory PEB insulation achieves strictly inferior results.

Remerciements

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'intervention de nombreuses personnes que je souhaite remercier tout particulièrement.

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde gratitude envers mon promoteur, le Professeur Geoffrey van Moeseke, qui après avoir accepté mon sujet de mémoire a toujours été d'un soutien indéfectible. Son expertise et sa disponibilité ont été déterminantes pour mener à bien celui-ci.

Je remercie très vivement le Professeur Francesco Contino de m'avoir guidé dans mon choix de sujet de mémoire, d'avoir accepté de financer ce travail et de participer au jury.

Un tout grand merci à Zakarie Bruyr qui a proposé de me suivre tout au long de mon travail et qui a toujours fait preuve de soutien et d'empathie à mon égard. Ses nombreuses relectures ont largement contribué à la réalisation de ce travail.

Je tiens à également remercier Monsieur Denis De Grave pour sa lecture du texte et sa participation au jury.

Merci à Marie Stas pour nos échanges, notre collaboration et son énergie positive tout au long de cette année académique.

Un tout grand merci à Marc Servais de Louvain Transition pour le financement des équipements Slowheat utilisés par les étudiants.

Merci au service LOGE de l'UCLouvain, plus particulièrement à Vincent Bomal et Raphaël Wydoogh.

Mes remerciements vont également à Jonas, Morgane, Charline, Léa, Camille, Héloïse, Damien, Matisse et Victor qui ont accepté d'éteindre leur chauffage durant tout l'hiver en atteignant parfois des températures impressionnantes sans équipement particulier.

Un immense merci au Delta Kap qui a toujours été volontaire pour se joindre à mon travail et pour son accueil toujours très chaleureux. Je remercie donc Antoine, Carole, Celia, Dorian, Marie, Nils, Soline Svenya et Félicie.

Je suis profondément reconnaissant envers tous les membres de mon kot qui ont accepté d'accueillir l'expérience chez nous. Vous m'avez toujours soutenu dans mon travail et vous y avez participé de la meilleure des façons. À Aline pour sa présence et sa patience à mes côtés, à Alix, Auriane, Cloé, Cyprien, Lancelot et Mathieu, un immense merci !

Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma famille pour son soutien inconditionnel et sa compréhension tout au long de mes études. Et plus particulièrement à ma maman pour ses conseils, son écoute, son soutien.

En Hommage à Patricia, Chantal, Patrick et tout particulièrement à grand-mère Germaine.

Abréviations et définitions

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Agence de la transition écologique)
B-E : Phase de Blocus - Examen
Bmi : Bâtiment du modèle informatique, il est composé de 11 kots semblables au KMI
Chambres patrimoine : sont des chambres vides servant à stocker le matériel pour le projet du kot
CO : Comportement des occupants
Commu : Pièce de vie communautaire
DCJ : Défi, compétition et jeu
DJ : Degré jours
ECS : Eau chaude sanitaire
EDP : Études de présence
Équipement de classe A : Équipement électrique Slowheat (0 W)
Équipement de classe B : Équipement électrique Slowheat (<200 W)
Équipement de classe C : Équipement électrique Slowheat (>200 - 1200<)
Espace commu : Ce sont toutes les zones communes du KMI à savoir le commu, l'entrée, les sanitaires et les couloirs
Gaz fossile : Gaz naturel ou gaz domestique
GES : Gaz à effet de serre
HR : Humidité relative
IRM : Institut Royal Météorologique
KE : Kot de l'expérience
KMI : Kot du modèle informatique
kot : Logement étudiant en Belgique
LbD : Learning by doing
LOGE : Service Logistique et Logement Étudiant
LV : Laboratoires vivants
P : Pionnier
P1 : Première phase (fin de quadrimestre)
P2 : Deuxième phase (de rentrée)
P2P : Peer-to-peer learning
P3 : Troisième phase (milieu de quadrimestre)
PCI : Pouvoir calorifique inférieur
PEB : Performance Énergétique des Bâtiments
PV : Panneau photovoltaïque
Q1 : Premier quadrimestre
Q2 : Second quadrimestre
RDC : Rez-de-chaussée
S : Semaine
SSM : Soutien sur mesure
Tmi : Température intérieure moyenne

Table des matières

1	Introduction	1
2	État de l’art	2
2.1	L’impact de l’effet rebond sur l’efficacité énergétique des bâtiments	2
2.2	La nécessité d’une approche multidisciplinaire pour répondre à l’effet rebond	5
2.3	Mise en place effective des comportements réducteurs d’énergie dans les ménages	8
2.4	Questionnement sur la limite et pourquoi la démarche Slowheat permet de la dépasser	10
2.5	Les stratégies de réduction de consommation d’énergie via le CO adressé à un public étudiant	15
3	Méthodologie	16
3.1	Cadre de référence	16
3.1.1	Recours à la théorie de l’ethnographie	16
3.1.2	Construction du Laboratoire vivant	17
3.2	Cadre expérimental	21
3.2.1	Choix des kots	21
3.2.2	Découpage temporel	22
3.2.3	Matériel de l’expérience	23
3.3	Collecte de données	25
3.3.1	Étude de présence	25
3.3.2	Température et humidité relative	30
3.3.3	Ventilation	31
3.3.4	Mesures électriques	33
3.4	Simulation thermique	35
3.4.1	Hypothèses générales	35
3.4.2	Analyse de sensibilité	37
3.4.3	Validation du modèle par défaut	39
4	Résultats et discussions	42
4.1	Résultats de l’expérience	42
4.1.1	Températures des kots de l’UCLouvain	42
4.1.2	Présence des étudiants du KE	45
4.1.3	Température du KE	50
4.1.4	Consommation énergétique du KE	54
4.2	Résultats de la simulation	59
4.2.1	Impact d’une pratique de Slowheating sur la consommation énergétique du KMI	59
4.2.2	Comparaison entre la pratique du Slowheating et l’isolation	64
5	Regard critique	65
5.1	Limites de l’étude	65
5.2	Perspectives	66
6	Conclusion	67
7	Recommandation OIKOS	68
7.1	Comparaison des résultats	68
7.2	Synthèse en 10 points	74
7.3	Retour d’expérience sur l’organisation des mémoires pluridisciplinaires OiKos	74
A	Profils étudiants	82

B	EDP réalisées durant l'expérience	92
C	Plan du KMI	97

Table des figures

2.1	Le calcul réglementaire flamand surestime significativement la consommation d'énergie réelle dans le parc de maisons individuelles flamandes [22].	4
2.2	Les labels énergétiques flamands sont de mauvais indicateurs de la consommation réelle des maisons [22].	4
2.3	Croissance exponentielle depuis 2004 des articles scientifiques s'intéressant à la compréhension du CO. Cela est dû d'une part à l'intérêt des grands rapports sur la question (GIEC, IEA, IIASA) et d'autre part à la méconnaissance de la question [32].	7
2.4	Limitations des connaissances actuelles du CO (en rouge) et pistes de réponse (en noir) [16].	7
2.5	Le confort incitera des comportements adaptatifs visant soit à changer l'environnement en fonction de ses besoins, soit à s'adapter à l'environnement. L'occupant peut également décider de ne pas s'adapter [16].	8
2.6	La température moyenne hebdomadaire (à gauche dans la pièce de vie et à droite dans les chambres) a diminué pendant la période du défi et cette tendance s'est prolongée sur une période de 3 mois [31].	9
2.7	La consommation moyenne des ménages a baissé de 57%. Au minimum, une diminution de 32% conforme aux prévisions de l'ADEME et au maximum, une diminution de 96% expliquée par un phénomène de "vampirisme thermique" [10].	12
2.8	Définition du Slowheating avec en orange et en gras des termes supplémentaires à définir. Les 8 principes pour un chauffage ouvert, multimodal, maîtrisé et sobre [6].	12
3.1	Découpage temporel de l'année académique 2023-2024.	23
3.2	Graphique de probabilité de présence des étudiants dans leur logement pendant une semaine de cours. La comparaison de l'intervalle de temps n'a pas d'impact sur la qualité des données présentées [58]. Le pas de temps de l'expérience et de la simulation a donc été choisi à 10 minutes.	25
3.3	Graphiques de probabilité de présence de 4 étudiants différents. Une grande variété de profils existe pour la même population [57].	26
3.4	Graphiques de probabilité de présence moyenne des étudiants suivis par l'étude durant la semaine de cours et le weekend. Pour la semaine de cours, malgré de légères différences, la moyenne est représentative. Pour le weekend, le samedi et le dimanche sont assez différents avec des étudiants restant plus chez eux le dimanche en journée et en soirée par rapport au samedi [57].	26
3.5	Exemple des 4 études de présence (EDP) de la chambre 5. Les EDP permettent d'avoir un aperçu des habitudes des étudiants, de déterminer la température vécue et de construire leur probabilité de présence. Elles mettent en évidence un écart moyen de 0.54 [°C] entre la température moyenne vécue et la température moyenne de la chambre sur l'ensemble des EDP et des étudiants.	28
3.6	Les EDP permettent d'établir des probabilités de présence nécessaires pour construire les présences théoriques. La présence est très variable d'un individu à l'autre comme décrit à la figure 3.3.	29
3.7	Les chambres du KMI sont les pièces les plus ventilées du kot. En moyenne, les étudiants ventilent le plus souvent à 8h00 dans leur chambre, à 14h00 dans l'entrée et à 23h30 dans le commu. Les chambres ont une probabilité de ventilation de 65 %. Le commu ainsi que l'entrée du kot ont une probabilité de 0.07% de ventilation par jour.	32
3.8	Les étudiants du KE ventilent 2.5 fois moins que les occupants du KMI. Ceci est probablement dû aux différentes étanchéités à l'air des deux kots. La simulation numérique se passant dans le KMI, ce sont les comportements de ventilation des occupants du KMI qui sont utilisés dans la modélisation informatique même lors de l'intégration des profils Slowheat.	33

3.9	Le système électrique permet de mesurer la consommation énergétique de l'utilisation des appareils électrique de l'expérience (aucun autre appareil ne peut être branché dessus). Il est composé de : a) un dédoubleur de prise, b) un enregistreur électrique, c) un timer électrique et d) une rallonge.	34
3.10	La température est le paramètre qui influence le plus la consommation d'énergie du KMI ce qui explique la pratique du Slowheating d'organiser une réduction du choix de la température intérieure moyenne. L'infiltration d'air est le deuxième paramètre le plus important qui influence la consommation d'énergie du KMI. L'hypothèse faite sur sa valeur (valeur par défaut PEB [64]) est donc la plus critique du modèle.	38
3.11	Bien que la prédiction ne soit pas exactement alignée avec la réduction de 30%, la précision du modèle est satisfaisante au vu de la variabilité des paramètres qui le composent (voir sous-section 3.4.2) et conformément au choix des hypothèses présentées à la table 3.5. . .	40
4.1	Un seul kot de l'UCLouvain sur 5 observés pendant l'hiver 2023-2024 a été en capacité de pratiquer le Slowheating dans ses chambres.	43
4.2	Les 4 probabilités de présence hebdomadaire construites grâce aux EDP permettent d'affirmer que la présence des étudiants dans leur kot varie en fonction de la période de l'année académique. Les périodes de début (Q2S3) et de milieu du quadrimestre (Q2S7) présentent des similitudes.	45
4.3	La probabilité qu'il y ait au moins une personne au kot durant la semaine est élevée. À l'inverse, durant le weekend, la majorité des étudiants est absente.	46
4.4	La présence journalière des étudiants suivis à l'UCLouvain est différente de [58] (voir la figure 3.2). Dès lors, la présence d'étudiants dans le logement peut être différente d'une université à l'autre.	47
4.5	La présence des étudiants varie grandement d'un individu à l'autre.	48
4.6	Le choix de température des chambres par les occupants n'est pas uniforme.	50
4.7	Les deux mois les plus froids pour l'ensemble des moyennes du kot se sont déroulés durant la phase 1 et la phase de blocus-examen. La moyenne la plus basse correspondante équivaut à 14.63 [°C].	51
4.8	L'arrivée d'un nouvel individu (4.B —) dans un kot pratiquant le Slowheating a un impact modéré (augmentation d'1 [°C]) sur le choix de température du kot.	52
4.9	La masse de bois brûlé tout au long de l'expérience s'élève à 571.3 [kg].	54
4.10	Malgré les imprécisions liées à l'utilisation du bois comme énergie de chauffage, la pratique du Slowheating a un impact minimal de 30% à 51% de réduction de consommation d'énergie de chauffage dans le KE.	56
4.11	L'utilisation de ces appareils se déroule majoritairement la nuit avec les surmatelas chauffants ou en soirée, après les journées de cours.	57
4.12	Pratiquer le Slowheating permet une réduction de consommation entre 55% et 68% dans le KMI.	59
4.13	Ordre d'insertion des kots Slowheat (bleu) à côté de kots classiques (rouge).	61
4.14	Le profil 1.2 atteint une réduction de consommation de 55% dans le KMI mais le résultat net sur le Bmi est de 40%.	62
4.15	Le profil 3 atteint une réduction de consommation de 68% dans le KMI mais le résultat net sur le Bmi est de 49%.	62
4.16	Une combinaison d'un scénario de rénovation avec une pratique du Slowheating permet une réduction maximale de consommation d'énergie de chauffage.	64
7.1	Un seul kot de l'UCLouvain sur 5 observés pendant l'hiver 2023-2024 a été en capacité de pratiquer le Slowheating dans ses chambres.	69
7.2	Schéma théorique de la courbe de chauffe.	70
7.3	L'utilisation de ces appareils se déroule majoritairement la nuit avec les surmatelas chauffants ou en soirées après les journées de cours.	72
A.1	Présence d'un étudiant du KMI par défaut	83
A.2	Ventilation du KMI par défaut	83
A.3	Présence du profil 1.1	84
A.4	Présence du profil 1.2	85
A.5	Présence du profil 2.1	86
A.6	Présence du profil 2.2	87
A.7	Présence du profil 3	88
A.8	Présence du profil 4.A	89

A.9	Présence du profil 4.B	90
A.10	Présence du profil 5	91
B.1	EDP de l'individu 1.1	92
B.2	EDP de l'individu 1.2	93
B.3	EDP de l'individu 2.1	93
B.4	EDP de l'individu 2.2	94
B.5	EDP de l'individu 3	94
B.6	EDP de l'individu 4.A	95
B.7	EDP de l'individu 4.B	95
B.8	EDP de l'individu 5	96
C.1	Plan RDC étage KMI	98
C.2	Plan 1 ^{er} étage KMI	99
C.3	Plan 2 ^{eme} étage KMI	100
C.4	Plan 3 ^{eme} étage KMI	101
C.5	Plan façade nord ouest KMI	102
C.6	Plan façade sud ouest KMI	103

Liste des tableaux

2.1	La variabilité des résultats indique la difficulté de quantifier l'effet rebond. En absolu, l'effet rebond diminue le gain théorique espéré, mais ne l'annule pas [19].	3
2.2	L'étude du CO nécessite différentes expertises, chacune avec son propre jargon [33].	5
2.3	Chaque discipline se concentre uniquement sur ses thématiques de recherche.	6
2.4	Chaque discipline a son point de vue et ses méthodes de recherche qui influencent les politiques. Les stratégies publiques sont historiquement dominées par les sciences économiques et de l'ingénieur [33].	6
2.5	Les postes d'émissions, la proportion qu'ils représentent ainsi que leur potentiel d'économie au sein d'un bâtiment. La chaleur est le poste énergétique le plus important, tandis que l'électricité est moins significative mais présente le plus grand potentiel [32].	8
2.6	Diverses définitions de la suffisance énergétique par rapport à l'efficacité énergétique [39].	9
2.7	Malgré des recommandations officielles différentes, tous les participants avaient une température moyenne similaire. Les candidats ont obtenu des résultats similaires de l'ordre de 1 [°C]. Peu de participants ont réussi à atteindre l'objectif des 18 [°C] [40].	10
2.8	La grande différence de T _{mi} entre les deux campagnes s'explique par une pratique du Slowheating qui n'était pas encore définitive. Malgré cela, la première et la seconde présentent des résultats bien supérieurs au projet ENERGISE Consortium [10].	11
2.9	* Peut inclure de l'énergie grise résiduelle utilisable. ** Au sens de garder la chaleur. En cas de besoin de chaleur, la hiérarchisation des moyens énergétiques sert de référence. Les moyens non énergétiques sont privilégiés, puis un recours aux basses puissances peut être effectué pour ultimement recourir à un radiateur, puis au chauffage central [6].	13
2.10	Les sous-vêtements thermiques possèdent une grande valeur de <i>Clo</i> ce qui signifie qu'ils permettent de supporter des températures intérieures plus faibles sans altérer le confort et en restant discret [47].	14
3.1	Les 5 catégories de LV généralisables à d'autres pays, leur contexte, leurs mécanismes et les résultats attendus [54].	19
3.2	P2P et LbD possèdent des éléments de contexte proche pour la construction optimale d'un LV. Ce sont donc ces catégories qui seront choisies pour ce travail [54].	20
3.3	Tableau récapitulatif des mesures prises dans différents kots répartis dans différents quartiers de Louvain-la-Neuve durant la semaine du 27 novembre au 3 décembre 2023 afin de choisir le kot qui accueille l'expérience. Le kot choisi sera Hocaille 2, car il a atteint la moyenne de température intérieure la plus basse durant la semaine du 27 novembre au 3 décembre. . .	21
3.4	Les hypothèses du modèle sont mesurées, justifiées ou calculées pour appuyer leur validité.	36
3.5	Les données de consommation de gaz de LOGE sont réduites de 15% pour la chaudière, de 15% pour les pertes au circuit de distribution et de 20% pour la consommation d'ECS. . .	40
4.1	La température choisie par les étudiants dans l'ensemble des chambres et du commu pendant toute la durée de l'expérience est de 15.51 [°C].	50
7.1	Équipement Slowheat trié par efficacité.	71
7.2	Équipements les plus efficaces pour une pratique de Slowheating avec leur prix.	71
A.1	Température choisie par le profil 1.1	84
A.2	Température choisie par le profil 1.1	85
A.3	Température choisie par le profil 1.1	86
A.4	Température choisie par le profil 1.1	87
A.5	Température choisie par le profil 1.1	88
A.6	Température choisie par le profil 1.1	89
A.7	Température choisie par le profil 1.1	90

A.8	Température choisie par le profil 1.1	91
-----	---	----

Chapitre 1

Introduction

Malgré la prise de conscience mondiale, le réchauffement climatique d'origine anthropique continue de s'amplifier. Les réductions des émissions de CO₂ ont été inférieures aux augmentations des émissions dues à la hausse des niveaux d'activité mondiale dans l'industrie, l'approvisionnement en énergie, les transports, l'agriculture et les bâtiments. Plus précisément, les émissions mondiales directes et indirectes de gaz à effet de serre (GES) provenant du secteur du bâtiment ainsi que les émissions liées à l'utilisation du ciment et de l'acier pour la construction et la rénovation des bâtiments s'élevaient à 12 GtCO_{2eq}, représentant 20% des émissions de 2019 [1].

Le constat est similaire en Belgique, avec des émissions de 13 ktCO_{2eq} pour le chauffage résidentiel et de 5 ktCO_{2eq} pour le chauffage tertiaire durant l'année 2022. Cela représente une contribution d'émission de GES pour le secteur du chauffage résidentiel et tertiaire de 17,4 % en 2022 en Belgique et de 16.2% pour la Wallonie en 2019 [2, 3].

Face à ce constat, il est possible de réduire la contribution de ce secteur aux émissions de CO₂ de deux façons différentes. Tout d'abord, en jouant sur l'efficacité énergétique du bâtiment. Pour ce faire, la Belgique ambitionne la neutralité carbone au plus tard en 2050 avec une étape intermédiaire de réduction des émissions des GES de 55% en 2030 par rapport à 1990. Cependant, cette démarche laisse planer des doutes en terme de disponibilité de la main-d'oeuvre, de ressources et de coûts [4].

Une autre approche, celle de la sobriété ou suffisance énergétique, consiste à limiter la consommation de manière volontaire. Contrairement à l'efficacité énergétique, la mise en place est immédiate et sans coût. Cependant, son acceptabilité reste son plus grand challenge. De plus, celle-ci n'est pas encore réellement organisée en Belgique, mais plutôt encouragée [5].

C'est là que la pratique du Slowheating intervient en proposant une méthode de sobriété tout en gardant un niveau de confort équivalent. Pour ce faire, les occupants décident d'une température intérieure la plus basse possible et compensent par des vêtements plus efficaces et des chauffages de proximité à basses consommations énergétiques [6, 7, 8, 9].

Cette démarche est un grand succès, car pour un choix de 15.16 [°C], 18 foyers participants ont atteint une réduction moyenne de 57% de consommation de chauffage. Cependant, elle en est encore à ses débuts et a rencontré des difficultés quant à son organisation en colocation [10].

C'est pourquoi ce travail vise à tester la pratique du Slowheating dans un environnement de colocation étudiante. Ceci permettrait d'approfondir la méthode tout en donnant à l'Université Catholique de Louvain un exemple de sobriété dans le bâtiment afin d'obtenir des réductions de consommation de chauffage et donc de CO₂ conformément au Plan Transition de l'Université [11].

Ce contexte amène la question de recherche suivante : "Quel est le potentiel d'une pratique de Slowheating dans un kot de l'UCLouvain ? "

Chapitre 2

État de l'art

Dans cette section, un état de l'art de l'impact du comportement humain sur les économies d'énergie est dressé. Il est réparti en 5 sections. La première discute le lien entre l'efficacité des bâtiments et l'effet rebond. La deuxième décrit la nécessité d'une approche pluridisciplinaire concernant la réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment via le comportement. La troisième présente des applications dans un cadre réel. Ensuite, la démarche Slowheat est présentée ainsi que sa capacité à dépasser les limites existantes. Enfin, une caractérisation des étudiants et de leur potentiel dans ce type de réduction est dressée.

2.1 L'impact de l'effet rebond sur l'efficacité énergétique des bâtiments

Il existe deux grandes façons de réduire considérablement la consommation énergétique d'un bâtiment existant. D'une part, via la performance énergétique et d'autre part, via le comportement des occupants (CO) [12, 13, 14]. L'efficacité énergétique peut permettre à des bâtiments d'atteindre une très faible consommation, voire de les rendre passifs. Par exemple, en Hongrie, la rénovation de 380 000 appartements a amené une réduction de 40-50% de consommation énergétique [15]. Cependant, on constate que dans de nombreux cas, même avec une grande efficacité énergétique, ces maisons consomment encore trop par rapport à ce qu'elles devraient consommer. Car même dans une maison parfaitement isolée, le CO influence fortement la consommation énergétique. [16, 17, 18].

Les causes de la surconsommation des bâtiments rénovés sont la complexité des systèmes déployés ou la mauvaise utilisation de ceux-ci, ce qui engendre un effet rebond ou paradoxe de Jevons qui peut être défini comme suit : "L'effet rebond est une augmentation de la consommation énergétique suite à l'amélioration de son efficacité. Cette augmentation vient compenser les gains espérés par l'amélioration" [19].

Il existe deux types d'effets rebonds. Le premier est l'effet rebond direct qui grâce à une réduction de consommation va inciter à une augmentation de celle-ci. Dans le contexte du bâtiment, il peut se manifester de la façon suivante : la diminution de la consommation d'énergie suite à des travaux d'efficacité énergétique est contrebalancée par une utilisation plus intensive de l'énergie de la part des occupants [20].

Le second est l'effet rebond indirect, l'économie monétaire réalisée par la réduction d'énergie est injectée dans d'autres services ou des biens qui eux-mêmes peuvent engendrer une consommation d'énergie. À nouveau dans le bâtiment, il peut s'expliquer par exemple par la diminution du coût énergétique, ce qui permet d'investir dans un système d'air conditionné qui lui-même utilisera de l'énergie [20].

Cependant, l'effet rebond ne contrebalance pas nécessairement les 100% des économies théoriques. Il est donc nécessaire d'estimer son intensité. Malheureusement, c'est une tâche difficile et les tentatives de quantification dans la littérature montrent une grande variabilité des résultats. Par contre, cet effet majoritairement inférieur à 100% implique que l'effet rebond ne compense pas totalement le gain théorique espéré comme présenté à la table 2.1.

TABLE 2.1 – La variabilité des résultats indique la difficulté de quantifier l'effet rebond. En absolu, l'effet rebond diminue le gain théorique espéré, mais ne l'annule pas [19].

LECTURE UN EFFET-REBOND DE 30 % SIGNIFIE QUE 30 % DES EFFETS THÉORIQUES ATTENDUS NE SONT PAS OBSERVÉS.

Quelques estimations d'effets-rebond			
Effets microéconomiques	Direct	Indirect	Pays/Région
Dimitropoulos <i>et al.</i> (2018)	10-12 % à court terme 26-29 % à long-terme		OCDE
Gillingham <i>et al.</i> (2016)		20-40 %	États-Unis, Canada
Freire-González (2017)		70-80 %	EU27
Belaïd <i>et al.</i> (2018)	60 %		France
Hediger (2016)	30 %		Suisse
Effets macroéconomiques	Marché	Croissance	Pays
Broberg <i>et al.</i> (2015)		40-70 %	Suède
Barker <i>et al.</i> (2007)		10 %	Royaume-Uni
Barker <i>et al.</i> (2009)		30 % à court terme 50 % à long terme	Monde

H. Hens et al de la K.U. Leuven se sont intéressés à l'effet rebond dans le secteur résidentiel. Ils ont pu mesurer un effet rebond lié au chauffage entre 31% et 74% dans 12 logements belges. De plus, ils ont mis en évidence que cet effet était bien plus grand dans les maisons bien isolées plutôt que dans les maisons mal isolées [21].

La dualité entre efficacité énergétique et les pratiques de sobriété sont ainsi décrites par les auteurs : "L'efficacité énergétique devrait être considérée comme une quantification de la qualité d'un bâtiment. Cependant, elle n'a aucune valeur lorsqu'il s'agit de quantifier la consommation d'énergie. La principale raison en sont les attitudes et comportements humains, entraînant un effet de rebond direct impactant l'utilisation de l'énergie." [22]

L'effet rebond lié au secteur résidentiel peut également s'expliquer à cause de problèmes calculatoires réglementaires. Des études à grande échelle aux Pays-Bas, en France, en Allemagne, au Royaume-Uni, en Suisse, au Luxembourg et au Danemark ont montré que le calcul réglementaire de la consommation d'énergie surestime souvent la consommation réelle, sauf pour les niveaux de performance les plus élevés ce qui compromet les politiques énergétiques nationales [22].

En Belgique, le suivi de 122 680 maisons flamandes confirme que le calcul réglementaire flamand surestime significativement la consommation d'énergie réelle. Les labels énergétiques flamands sont de mauvais indicateurs de la consommation réelle, surtout pour les labels les plus faibles comme présenté à la figure 2.1 et à la figure 2.2 [22].

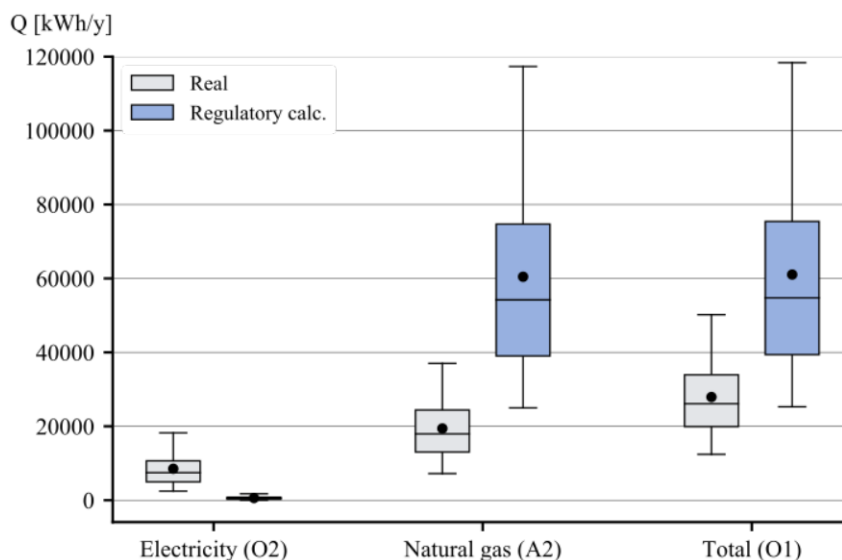


FIGURE 2.1 – Le calcul réglementaire flamand surestime significativement la consommation d'énergie réelle dans le parc de maisons individuelles flamandes [22].

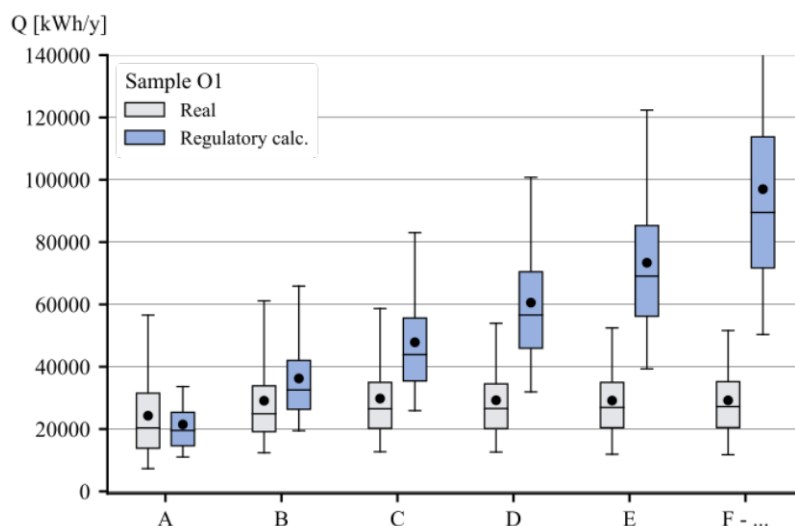


FIGURE 2.2 – Les labels énergétiques flamands sont de mauvais indicateurs de la consommation réelle des maisons [22].

Pour limiter l'effet rebond, un cadre juridique devrait permettre de réduire son effet en encourageant des normes de sobriété au niveau réglementaire, indicatif et institutionnel [13, 23]. Pour le moment, de telles réglementations sont peu mises en place comparées à la rénovation des bâtiments en Belgique [24, 25].

En France, il existe une limitation concernant la température maximale formulée dans le Code de l'énergie Article R241-26 datant du 30 décembre 2015. "Dans les locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de bureaux ou recevant du public et dans tous autres locaux, à l'exception de ceux indiqués aux articles R. 241-28 et R. 241-29, les limites supérieures de température de chauffage sont, en dehors des périodes d'inoccupation définies à l'article R. 241-27, fixées en moyenne à 19 [°C]" [26].

Une infraction à cette loi peut entraîner une contravention de cinquième classe, soit une amende de 1500€ et 3000€ en cas de récidive. Cependant, son application effective n'est pas réellement mise en place [27, 28, 29]

En Belgique, selon le SPW Wallonie Energie, "Réduire la température ambiante de 1 [°C] est une proposition plutôt bien acceptée par la population, mais cette mesure est fortement liée au revenu. Il semble effectivement que les ménages dont le revenu est plus faible sont plus favorables à cette mesure." [30]

L'efficacité énergétique des bâtiments implique un effet rebond lié à la complexité des systèmes déployés ou la mauvaise utilisation de ceux-ci, le calcul réglementaire et le CO. A l'inverse, le changement de CO peut se faire sans délai et avec peu d'investissements. Il est également réalisable dans tous les bâtiments, peu importe leur performance [31].

2.2 La nécessité d'une approche multidisciplinaire pour répondre à l'effet rebond

Il convient désormais de définir ce que l'on entend par le comportement des occupants (CO) lié à l'énergie : "Actions ou réactions observables d'une personne en réponse à des stimuli externes ou internes, ou respectivement actions ou réactions d'une personne pour s'adapter aux conditions environnementales ambiantes telles que les températures, la qualité de l'air intérieur et la lumière du soleil" [IEA cité par [32]].

Pour caractériser le CO, d'autres sciences que les sciences exactes sont nécessaires : la sociologie, la psychologie et l'anthropologie. C'est pourquoi il faut se référer à d'autres champs de connaissances. La table 2.2 recense les différentes professions impliquées dans ce travail. Historiquement, les sciences économiques et de l'ingénierie ont été dominantes dans la recherche et la construction des politiques énergétiques [33].

Ces disciplines se sont souvent concentrées sur l'individu ou les technologies permettant la réduction de la consommation, alors que l'anthropologie et la sociologie ont des points de vue plus larges. En effet, ces sciences considèrent les groupes sociaux comme les principaux utilisateurs d'énergie en considérant les systèmes énergétiques et les comportements comme des constructions sociales [33].

TABLE 2.2 – L'étude du CO nécessite différentes expertises, chacune avec son propre jargon [33].

Research tradition	Some dominant themes and vocabularies
Engineering	Technical energy efficiency, physics, services, asset ratings, user behavior
Economics	Investments and cost-effectiveness; demand elasticity; utility; externalities
Psychology	Attitudes, values, commitments, beliefs, goals, behaviors, decisions
Social psychology	Norms, contexts, habits
Behavioral economics	Choice architecture, nudges
User-centered design/human factors	Users; device design; micro-interactions connecting to behavioral and social sciences
Energy planning	Supply forecasting; urban forms; spatial organization; transportation; embodied and indirect energy use
Architecture	Building design, passive solar, passive house, intelligent building, user interaction
Sociology	Practices, habitus, social groups, communities, shared social meanings of consumption
Political science	Political party platforms, state and non-state actors
Anthropology	Cultures, power structures, interactions with physical world
Social studies of technology	Social interpretation of devices and structures, social construction, scripts, assemblages, regimes, systems of provision

TABLE 2.3 – Chaque discipline se concentre uniquement sur ses thématiques de recherche.

Tradition de la recherche	Quelques thèmes et vocabulaires dominants
Ingénierie	Efficacité énergétique, technique, physique, services, évaluation des actifs, comportement des utilisateurs
Économie	Investissements et rentabilité ; élasticité de la demande ; utilité ; externalités
Psychologie	Attitudes, valeurs, engagements, croyances, objectifs, comportements, décisions
Psychologie sociale	Normes, contextes, habitudes
Comportements économiques	Architecture de choix, nudges
Conception centrée sur l'utilisateur/ facteurs humains	Utilisateurs ; conception d'appareils ; micro-interactions en lien avec les sciences comportementales et sociales
Planification énergétique	Prévision de l'offre ; formes urbaines ; organisation spatiale ; transport ; utilisation de l'énergie intrinsèque et indirecte
Architecture	Conception de bâtiments, solaire passif, maison passive, bâtiment intelligent, interaction avec l'utilisateur
Sociologie	Pratiques, habits, groupes sociaux, communautés, significations sociales partagées de la consommation
Sciences politiques	Programmes des partis politiques, acteurs étatiques et non étatiques
Anthropologie	Cultures, structures de pouvoir, interactions avec le monde physique
Études sociales technologiques	Interprétation sociale des dispositifs et des structures, construction sociale, scripts, assemblages, régimes, systèmes de fourniture

Dans le tableau (table 2.4) sont reprises les quatre disciplines principales intervenant dans la compréhension des comportements énergétiques des groupes sociaux. On y retrouve le prisme de pensée des différentes disciplines, leurs hypothèses de recherche et leurs contributions aux politiques énergétiques [33].

TABLE 2.4 – Chaque discipline a son point de vue et ses méthodes de recherche qui influencent les politiques. Les stratégies publiques sont historiquement dominées par les sciences économiques et de l'ingénieur [33].

Perspective	Basic explanations of energy use	Primary research objectives	Policy strategies and narratives
Physics, Engineering	Characteristics of buildings and technology	Understand and increase device and thermal efficiency	Promote technological innovation and dissemination via regulation or appeals to market, often combined with an economics perspective
Economics	Consumer as utility-maximizer subject to budget constraints	Understand and use price signals to influence consumer action	Change or communicate prices of energy or energy-using goods toward encouraging reduced energy consumption or increased uptake of technical efficiency
Psychology	Individual expression; mental processes	Understand and influence individual perceptions about and actions related to energy use, energy services, or their environmental effects	Convince people of advantages (on a variety of dimensions) of using less energy or using more efficient products
Sociology, Anthropology, Social Studies of Technology	Socially negotiated patterns of consumption; focus on groups, cultures and influences of larger social systems	Understand variability and patterns of consumption and the social origins of those patterns	More difficult; Examine people's life circumstances, look for sources of constraint and outside influences that shape consumption

Le rôle du CO dans l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment a été repensé dans la revue de la littérature [32]. La recherche sur ce sujet a connu une croissance exponentielle depuis 2004, comme illustré sur la figure 2.3. Cette augmentation peut s'expliquer par la publication de rapports influents sur la question, émanant d'institutions mondialement reconnues telles que le sixième rapport du GIEC [34], le Global Energy Assessment par l'IIASA [35] ainsi que l'annexe 66 du Technical Report : Occupant Behavior Modeling Approaches and Evaluation par l'IEA-EBC [36].

De plus le CO n'est pas encore bien compris ce qui donne aux chercheurs la volonté de le caractériser au mieux [16, 32, 33, 37, 38].

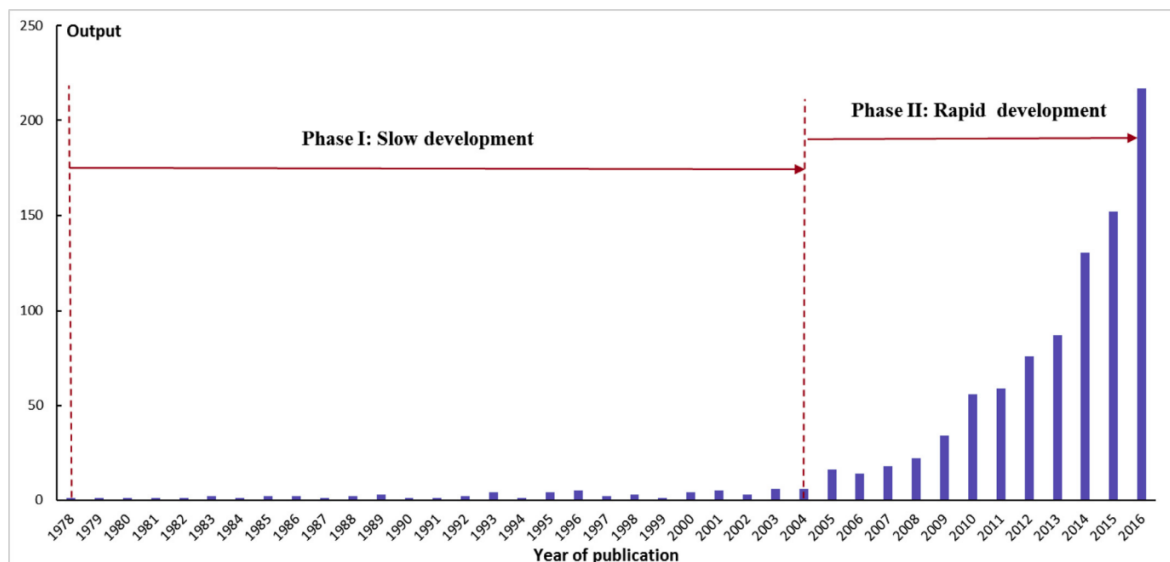


FIGURE 2.3 – Croissance exponentielle depuis 2004 des articles scientifiques s’intéressant à la compréhension du CO. Cela est dû d’une part à l’intérêt des grands rapports sur la question (GIEC, IEA, IIASA) et d’autre part à la méconnaissance de la question [32].

Cette croissance rapide a été suivie de plusieurs limitations reportées à la figure 2.4. Les limitations sont notées en rouge dans la partie supérieure tandis que les connaissances actuelles sont présentées dans la partie inférieure en noir. Il en résulte 10 questions auxquelles les auteurs répondent pour réaliser un état de l’art de la compréhension actuelle des connaissances. Les trois premières se concentrent sur la quantification du potentiel, les trois suivantes sur l’incorporation des connaissances dans les modèles informatiques et les quatre dernières sur le rôle des sciences sociales sur ce sujet.

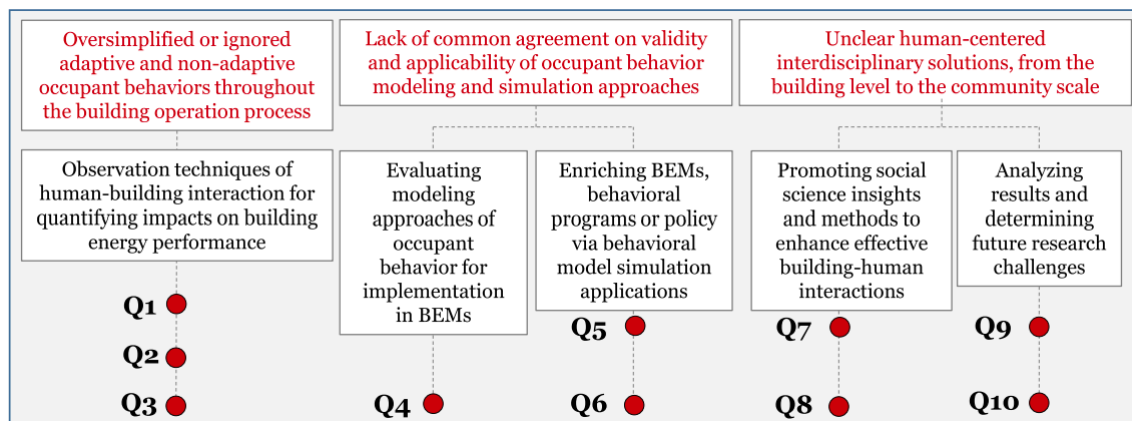


FIGURE 2.4 – Limitations des connaissances actuelles du CO (en rouge) et pistes de réponse (en noir) [16].

Le CO influençant la consommation d’énergie, il peut être classé en deux parties, à savoir : a) les actions pour adapter l’environnement intérieur, b) les actions pour s’adapter soi-même à l’environnement intérieur, comme synthétisé dans le schéma suivant figure 2.5.

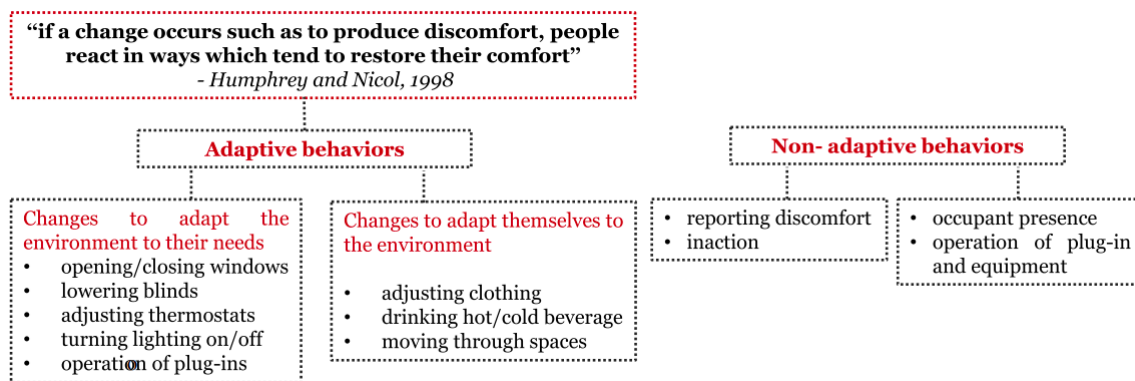


FIGURE 2.5 – Le confort incitera des comportements adaptatifs visant soit à changer l’environnement en fonction de ses besoins, soit à s’adapter à l’environnement. L’occupant peut également décider de ne pas s’adapter [16].

Les actions pour adapter l’environnement intérieur, les proportions qu’elles représentent ainsi que leurs économies potentielles sont synthétisées dans la table 2.5.

TABLE 2.5 – Les postes d’émissions, la proportion qu’ils représentent ainsi que leur potentiel d’économie au sein d’un bâtiment. La chaleur est le poste énergétique le plus important, tandis que l’électricité est moins significative mais présente le plus grand potentiel [32].

Energy use in buildings	Proportion in residential	Proportion in commercial	Potential energy savings from behavioral change
Heating/iv	32%	33%	10%–30% [10]; 51%[96]
Hot water	24%	12%	50% [10]
Cooling	2%	7%	50%–67% [10]
Cooking	29%	–	50% [10]
Lighting	4%	16%	60% [171]; 70% [10]
Refrigerators	9%	–	30% [10]; 50% [10]
Dishwashers	–	–	75% [10]
Clothes washers	–	–	60%–85% [10]
Clothes dryers	–	–	10%–15% [10]; 10–100% [10]
Total for residential	–	–	6%–25% [101,21,166,167]
Total for commercial	–	–	5%–30% [167, 168]

On y constate que les éléments importants sont le chauffage, l’eau chaude sanitaire (ECS) et la cuisine. L’électricité représente peu d’usages, mais un grand potentiel.

2.3 Mise en place effective des comportements réducteurs d’énergie dans les ménages

Comme indiqué précédemment, le CO a un très grand impact sur la consommation du bâtiment, même si celui-ci est isolé. Cependant, la mise en place d’actions durables pour la réduction de la consommation d’énergie représente toujours un défi [33].

Bien que, pour le moment, il n’existe pas de définition mondialement acceptée de la sobriété, de la suffisance ou de l’autosuffisance énergétique, ENERGISE Consortium fait la proposition suivante : "Nous définissons la suffisance énergétique comme une consommation qui garantit à chacun l’accès à une quantité suffisante d’énergie pour satisfaire ses besoins fondamentaux, dans le respect des limites écologiques de la planète." Cette définition de la suffisance vise à inclure les limites planétaires, contrairement à d’autres, comme exprimé dans la table 2.6 et [39].

TABLE 2.6 – Diverses définitions de la suffisance énergétique par rapport à l'efficacité énergétique [39].

	MORE SUSTAINABLE ENERGY USE AT THE HOUSEHOLD LEVEL				
	EFFICIENCY		SUFFICIENCY		
Description of change	Increase in efficiency, which may or may not result in reduced overall energy use	Increase in efficiency, which results in reduction in energy use but there is no reference to any reduction target or ecological limits	Reduction in energy use to sufficiency level, which is defined in relation to meeting basic needs but there is no reference to sustainable footprint or justice (this is how sufficiency is defined in the ENERGISE project)	Reduction in energy use to sufficiency level that is defined as equal to the sustainable (within ecological limits) and just carbon footprint (this is what we base our own analysis of ENERGISE cases and CIMULACT visions on)	Increase in energy use to sufficiency level that is equal to the sustainable (within ecological limits) and just carbon footprint for those whose basic needs are not met
Is there a reduction in energy consumption?	Yes or No	Yes	Yes	Yes	No
Are ecological limits considered?	Not explicitly	Not explicitly	Not Explicitly	Yes	Yes
Is justice considered?	May or may not include a JUSTICE element			Yes, explicitly includes a JUSTICE element (~ explicit link between environmental and social sustainability)	

Le projet ENERGISE existe dans les 27 pays de l'Union européenne. Il se concentre principalement sur la réduction de la consommation d'énergie en réduisant la température de chauffage souhaitée ainsi que la réduction de l'utilisation de la machine à laver en modifiant la fréquence d'utilisation et la température de lavage. Seul la diminution de la température moyenne intérieure (T_{mi}) est observée.

298 maisons ont ainsi été suivies à travers 8 pays européens dans le but de réduire la température à 18 [°C] [31]. Un élément important constaté est que les maisons qui régulent la température pièce par pièce, et non pour l'ensemble de l'habitat, ont obtenu de meilleures performances (une diminution de 1.3 [°C] contre 0.5 [°C] en moyenne). Toutes les maisons, dans chaque pays, ont réussi à réduire la température d'au moins 1 [°C] dans les pièces de vie et 1.5 [°C] dans les chambres. Il a également été observé que cette tendance se poursuivait après l'expérience et s'améliorait atteignant une diminution de 1.3 [°C] dans les pièces de vie et 2.3 [°C] dans les chambres comme indiqué sur la figure 2.6.

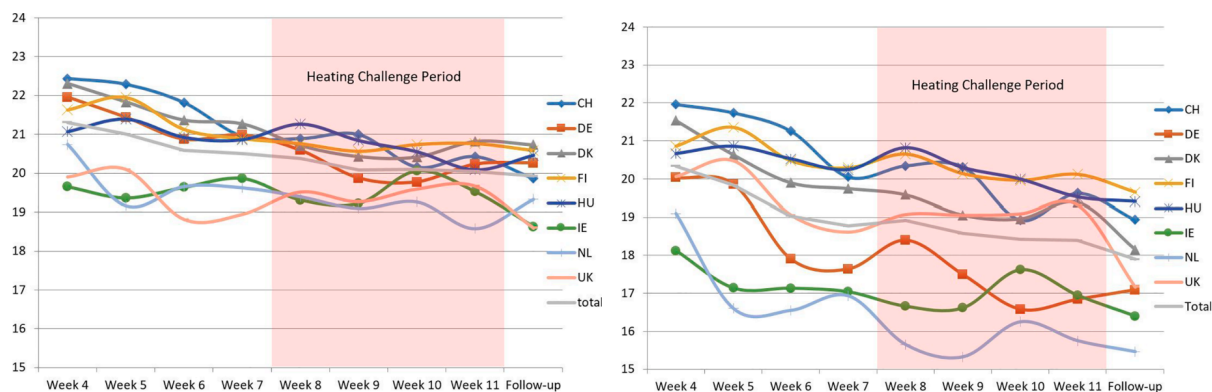


FIGURE 2.6 – La température moyenne hebdomadaire (à gauche dans la pièce de vie et à droite dans les chambres) a diminué pendant la période du défi et cette tendance s'est prolongée sur une période de 3 mois [31].

Dans une autre étude, 122 maisons ont été suivies au Danemark, en Finlande et en Hongrie [40]. Laakso et al. ont proposé aux participants soit de fixer eux-mêmes une réduction T_{mi} soit de suivre leur recommandation fixée à 18 [°C]. La plupart des candidats danois et finlandais ont choisi de suivre la recommandation des 18 [°C], tandis que la majorité des Hongrois ont préféré fixer leurs propres objectifs, ce qui peut s'expliquer par la législation hongroise plus souple.

Il est important de noter que les valeurs pro-environnementales ne suffisent pas à réduire la T_{mi} si les normes sociales de la communauté privilégient d'autres aspects tels que le confort, l'hospitalité ou les bonnes pratiques. Les explications ou les innovations technologiques apportées aux ménages ne peuvent pas remettre en question de manière efficace les normes de chauffage existantes. Des discussions publiques pourraient être une solution à ce problème.

La réduction moyenne de la T_{mi} était la même dans tous les pays, soit environ 1 [°C]. Très peu de participants ont atteint 18 [°C] et souvent pendant de courtes périodes (voir table 2.7). Comme dans l'étude précédente, les efforts ont perduré après l'expérience et se sont même intensifiés. Plusieurs candidats ont mentionné que la réduction de la température intérieure était un processus d'apprentissage à long terme et qu'ils continueraient le défi pour atteindre l'objectif des 18 [°C].

2.4 Questionnement sur la limite et pourquoi la démarche Slowheat permet de la dépasser

Après avoir montré l'importance de la réduction potentielle de la consommation d'énergie dans les bâtiments, il convient d'en chercher la limite. Selon différentes études, celle-ci se situe entre 5% et 25% [16, 32, 34, 35, 37, 41].

Pour faire un parallèle entre la réduction d'énergie citée juste avant et la diminution de la température parcourue dans le cadre d'ENERGISE, il est possible de se baser sur la recommandation de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) : "1 [°C] en moins, c'est 7% d'économie de chauffage" [42, 43, 44]. Les différentes études parcourues précédemment montraient des diminutions allant de 1 [°C] à 2 [°C], ce qui réduirait la consommation d'énergie de 7% à 14% uniquement pour le chauffage. On retrouve donc la limite décrite dans la littérature.

Récemment, un programme de recherche nommé Slowheat a étudié la possibilité de descendre en dessous de cette limite de 18-19 [°C]. Ce collectif vise à découvrir de nouvelles pratiques de chauffage en apportant la chaleur aux individus plutôt qu'aux bâtiments. L'objectif est de refaire du chauffage intérieur un acte réfléchi, de rediscuter les normes sociales qui régissent nos pratiques de chauffage et de réduire la consommation par notre capacité d'acclimatation ainsi que par du chauffage de proximité.

Tout d'abord, il convient de comparer les méthodologies et objectifs que le collectif Slowheat propose à ses participants. Dans ce cadre, le but est de rediscuter toutes les normes et limites qui entourent le chauffage. Les participants volontaires étaient de 29 individus (19 femmes et 10 hommes) principalement Bruxellois, les autres résident en Wallonie. Différents types de logements étaient représentés et tous étaient équipés de chauffage central [45].

De Grave et al. ont identifié 4 stratégies d'adoption du Slowheating parmi leurs participants :

1. Diminution progressive de la température sans objectif précis
2. Objectif de T_{mi} à atteindre
3. Non-utilisation du chauffage central

TABLE 2.7 – Malgré des recommandations officielles différentes, tous les participants avaient une température moyenne similaire. Les candidats ont obtenu des résultats similaires de l'ordre de 1 [°C]. Peu de participants ont réussi à atteindre l'objectif des 18 [°C] [40].

Table 2

Official indoor temperature recommendations, average temperatures, and temperature changes: measured and preferred (in parentheses) temperatures and number of households managing to achieve the 18 °C target (Data source: Heiskanen et al., 2019; Jensen and Friis, 2019; Vadovics and Pap-Szuromi, 2019; calculations using thermologger data).

Indoor temperatures (°C)	Denmark	Finland	Hungary
Officially recommended indoor temperatures	19–22 °C depending on the type of the room ^b	20–21 °C living rooms; 18–20 °C bedrooms ^c	20–25 °C min. 20 °C winter in mostly used rooms ^d
Before the challenge (T1)			
Living room	21.2 (21.6)	21.7 (21.2)	21.4 (22.0)
Bedroom	19.7 (18.5)	21.2 (20.2)	20.9 (20.3)
Right after the challenge (T2)			
Living room	20.8 (20.9)	20.7 (20.2)	20.7 (20.7)
Bedroom	19.5 (18.8)	20.2 (19.2)	20.2 (19.2)
3 months after the challenge (T3)			
Living room	20.8 (20.8)	20.6 (20.3)	20.6 (20.6)
Bedroom	18.2 (18.3)	19.7 (19.1)	19.6 (19.3)
Average reduction (T1–T3)^a			
Living room	–0.5 (surveys) –1.4 (thermologger)	–1.2 (surveys) –0.8 (thermologger)	–0.8 (surveys) –1.2 (thermologger)
Bedroom	–1.5 (surveys)	–1.5 (surveys)	–1.3 (surveys)
Largest reduction in average temperature between baseline and challenge period	–2.65	–2.71	–2.57
No. of households			
Achieving ≤18.5 °C	0	1	4
Achieving ≤18.5 °C at least on one occasion between 5 and 9 p.m.	13	17	14

^a The data provided by thermologgers differs slightly from the thermometer data, based on which the households filled in the surveys (this might be due to, e.g., thermologgers being placed higher in rooms).

^b source: [Boliis \(2018\)](#).

^c Based on decree 545/2015 by the Ministry of Social Affairs and Health, source: [Motiva \(2019\)](#).

^d Based on the decree July 2006 by the Ministry of Innovation and Technology, source: [TNM, 2006](#).

4. Objectif de consommation maximale

On constate que la première stratégie est similaire, voire identique aux approches proposées par le projet ENERGISE Consortium [40]. La différence s'explique par la volonté de mettre en place une hiérarchisation des moyens énergétiques pour répondre de façon raisonnable à un inconfort thermique (voir ci-après).

Tous les participants ont suivi deux campagnes de mesures. La première (campagne de début) a duré 3 semaines à la fin de l'hiver 2021. Celle-ci correspondait aux premières pistes d'exploration. La pratique n'étant pas formellement définie, cette campagne a eu une vision intuitive de diminution de température. Aucune acclimatation physiologique, des vêtements supplémentaires ou un système de chauffage de proximité n'ont été employés. La deuxième campagne (campagne finale) s'est étendue sur tout l'hiver 2022-2023. Grâce à sa durée et la maturité de la recherche, c'est celle-là qui est la plus représentative de la pratique du Slowheating [10].

Les résultats sont présentés dans la table 2.8. Les échelles de temps sont choisies pour correspondre au moment le plus froid de l'hiver pour cette période, e.g., le mois le plus froid de l'hiver 2023. La première campagne n'ayant duré que 3 semaines, une reconstruction (approximation) a été nécessaire pour pouvoir comparer les périodes mensuelles.

TABLE 2.8 – La grande différence de Tmi entre les deux campagnes s'explique par une pratique du Slowheating qui n'était pas encore définitive. Malgré cela, la première et la seconde présentent des résultats bien supérieurs au projet ENERGISE Consortium [10].

	Campagne du début	Campagne finale	Progression
2 mois	<u>19.20*</u>	15.16	<u>-4.04*</u>
1 mois	<u>18.92*</u>	14.84	<u>-4.08*</u>
1 semaine	17.86	13.63	-4.23
1 jour	17.19	12.87	-4.32
<u>* approximation</u>			

Le résultat marquant à retenir est que la seconde période obtient une Tmi de 15,16 [°C] ± 1.93 sur une période d'observation de 60 jours dans 18 foyers belges. La médiane des moyennes se situe à 15,01.

Les résultats de la campagne de début (17.86 [°C] Tmi) sont déjà plus bas que ceux obtenus dans le cadre du projet ENERGISE Consortium (20.5 [°C] en ordre de grandeur dans la pièce de vie et 19 [°C] dans les chambres). Lors de la seconde année, le projet Slowheat arrive à des diminutions nettement supérieures à ENERGISE avec 15,16 [°C] de Tmi.

Il est important de rappeler que l'expérimentation s'est déroulée sur deux années et donc que les participants ont eu du temps pour l'amélioration et l'approfondissement de la méthode. Malgré ce facteur, la différence de résultat reste très importante.

Cette diminution de Tmi doit s'accompagner d'une diminution de consommation d'énergie. De Grave et al. ont également recours à la recommandation de l'ADEME pour passer de Tmi à la diminution de la consommation d'énergie. Ainsi, pour une diminution de 4-5 [°C], une réduction de l'ordre de 28-35% devait avoir lieu. Or, la consommation moyenne des ménages a baissé de 57% avec un minima et maxima de respectivement 32% et 96% figure 2.7. Ce résultat s'explique par ce que les chercheurs appellent le "vampirisme thermique". Ce phénomène résulte du fait que la paroi du voisin vient apporter de la chaleur au sein du foyer.

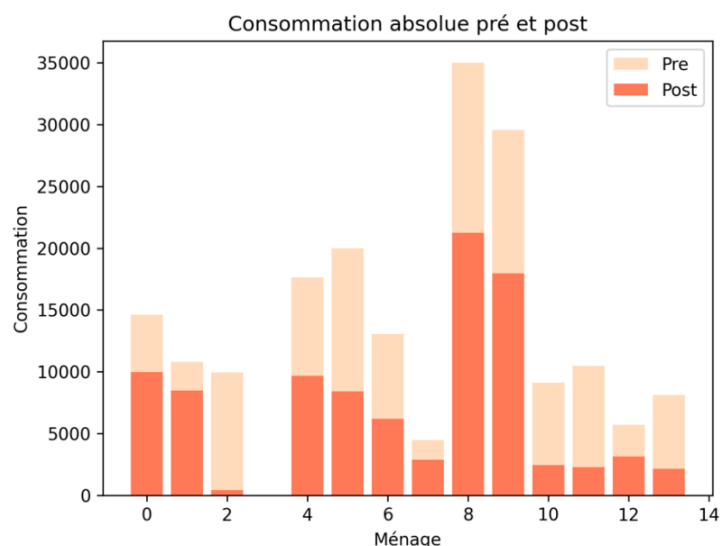


FIGURE 2.7 – La consommation moyenne des ménages a baissé de 57%. Au minimum, une diminution de 32% conforme aux prévisions de l'ADEME et au maximum, une diminution de 96% expliquée par un phénomène de "vampirisme thermique" [10].

Après avoir vu et comparé les résultats de la pratique Slowheat au projet ENERGISE Consortium, il convient de comprendre comment les chercheurs ont atteint de tels résultats. Pour ce faire, il faut se plonger plus en détail dans la pratique du Slowheat à commencer par sa définition figure 2.8 [6].

Slowheating (n.m.) : Le slowheating est une **pratique** de chauffage qui transforme nos façons d'habiter au XXI^e siècle autour de **huit principes** et d'une idée qui consiste à **chauffer les corps au lieu des bâtiments** par l'utilisation de **chauffage de proximité**. Elle poursuit l'objectif de concilier au mieux la modération de la consommation et l'amélioration du bien-être. Elle met empiriquement en œuvre de nouvelles représentations du **confort** et de nouveaux savoir-faire et participe en ce sens à l'émergence d'un nouveau modèle de société fondé sur la **sobriété** et la **résilience**.

FIGURE 2.8 – Définition du Slowheating avec en orange et en gras des termes supplémentaires à définir. Les 8 principes pour un chauffage ouvert, multimodal, maîtrisé et sobre [6].

Ces 8 principes vont être passés en revue et quand cela sera nécessaire, des liens avec le projet ENERGISE Consortium seront faits.

1. **Une pratique :** L'objectif étant de chauffer les corps et non plus les bâtiments, il convient de vérifier les différentes possibilités d'apporter la chaleur. C'est en ce sens que le Slowheating est une pratique de chauffage, car elle répond au besoin d'une personne par différents modes d'action. Une pratique, c'est un ensemble de 4 éléments : a) des activités et compétences, b) des normes législatives ou sociales, c) du matériel et des infrastructures, d) des représentations, engagements et des valeurs. Il est important de noter que pour qu'une pratique soit appliquée et évolue, il faut que les 4 éléments soient présents simultanément.
2. **Les normes de confort :** Il convient de rappeler que l'apparition du chauffage central ne remonte qu'à 100 ans. La construction sociale du confort thermique telle qu'on la connaît n'est que très récente, ce qui rend sa déconstruction possible [46]. De plus, le confort ne dépend pas uniquement de la température de l'air, car l'humidité, la vitesse de l'air, la température des parois, l'habillement et l'activité sont également à prendre en considération. Une remise en question des normes par la discussion entre les membres du foyer est donc un élément indispensable pour la mise en place d'une démarche de Slowheating.
3. **Chauffer les corps au lieu des bâtiments :** Comme indiqué au 1^{er} point, il est important de pouvoir adapter son besoin en fonction de la contrainte et d'apporter la chaleur là où elle est nécessaire, e.g. tapis chauffant si on a froid aux pieds. Enfin, utiliser le chauffage central comme seul moyen de chauffage, c'est prendre un risque en cas de panne ou de pénurie de combustible.

4. **Choisir de façon empirique les solutions qui nous conviennent** : Tous les êtres humains sont uniques et ont des ressentis différents. C'est pourquoi chaque individu doit trouver une solution adaptée à ses propres besoins. Cette étape expérimentale permet d'identifier ce qui convient le mieux pour chacun.
5. **Une consommation d'énergie maîtrisée et rationnelle** : Pour ce faire, il faut changer de paradigme. Passer d'une énergie qui est par défaut disponible à une énergie qui par défaut ne l'est pas. La consommation devient alors visible et est maîtrisée. On décide à quelle intensité et pendant combien de temps on va activer un vecteur énergétique.
6. **Une décision basée sur nos besoins et nos ressentis** : Se demander où et quand il faut chauffer est la question légitime qui découle du point précédent. Sahakian et al. ont constaté que le corps humain était "un excellent capteur" avec un corps et des sens agissant comme un mécanisme à boucle rétroactive [31]. C'est donc sur un ressenti et non sur base de la température que le Slowheat propose d'activer nos moyens énergétiques (ou non énergétiques) pour se réchauffer.
7. **On choisit les voies les moins énergivores pour répondre à nos besoins** : L'idée est d'établir une hiérarchisation des moyens de chauffage basée sur la puissance. On commencera par utiliser des vecteurs non énergétiques en priorité e.g. des vêtements chauds, ensuite des appareils basse puissance pour enfin n'utiliser les radiateurs qu'en dernière ressource (voir table 2.9).
8. **Rassembler les habitants dans la chaleur** : La chaleur directement orientée sur l'individu permet de minimiser les consommations d'énergie. Mais cela ne veut pas dire que la chaleur restante ne doit pas être utilisée. Au contraire, elle doit être mutualisée et partagée là où elle se trouve, e.g. la chaleur d'un plat au four, d'une pièce ensoleillée à midi,... De cette façon, un feu de bois ou un radiateur allumé, bien qu'étant de gros consommateurs, s'ils sont suffisamment partagés, représentent une puissance et donc une énergie raisonnée par personne.

TABLE 2.9 – * Peut inclure de l'énergie grise résiduelle utilisable. ** Au sens de garder la chaleur. En cas de besoin de chaleur, la hiérarchisation des moyens énergétiques sert de référence. Les moyens non énergétiques sont privilégiés, puis un recours aux basses puissances peut être effectué pour ultimement recourir à un radiateur, puis au chauffage central [6].

Classe	Puissance	Familles de solutions	Exemples
Classe A, Le bon sens non-énergétique	0W*	Habillement, cloisonnement, isolation**, acclimatation, adéquation de l'activité	Mettre un pull, des rideaux, installer une porte, s'entraîner au froid, faire le ménage quand on a froid...
Classe B, <u>Le chauffage de proximité</u> basse puissance des corps [Par conduction]	<200W/hab.	Accessoires vestimentaires et/ou du mobilier chauffants en contact avec le corps.	Chaise chauffante, surmatelas chauffant, cape chauffante, bouillotte, gilet chauffant...
Classe C, <u>Le chauffage de proximité</u> moyenne puissance de l'environnement proche des corps [Principalement par rayonnement]	200-1200W	Par des éléments radiants et/ou du mobilier chauffant à proximité directe des bénéficiaires.	Panneau radiant, grande banquette chauffante, table chauffante, colonne radiante...
Classe D, Le chauffage centralisé d'une pièce entière [Principalement par convection]	1200-5000W	Les vannes thermostatiques, le(s) radiateur(s) en place, un thermostat adapté.	Chauffer une pièce à 15-17° quand on y est pour que les solutions ABC restent suffisantes.
Classe E, Le chauffage centralisé du bâtiment entier	>5000W	Le chauffage central	Garder le chauffage central en alerte pour maintenir le bâtiment hors gel (8°C) ou à une température "de passage", par exemple 12-15°C.

La définition et les 8 principes mettent bien en avant le caractère réfléchi de la consommation de l'énergie ainsi que l'aspect expérimental. Il s'agit maintenant, d'investiguer la mise en pratique du Slowheating et les outils proposés par la démarche. Pour ce faire, la hiérarchisation des actions pour se réchauffer va être suivie à la table 2.9.

Pour commencer, les moyens non énergétiques sont étudiés. On y retrouve l'adaptation physiologique au froid et les vêtements. Une résistance au froid peut être travaillée et entraînée dans notre corps via les graisses brunes. Ce sont elles qui permettent de brûler des calories pour nous réchauffer. Leur potentiel, basé sur l'expérience, pourrait représenter 3-4 [°C] de diminution de T_{mi} à confort thermique égal [9]. Il est à noter que l'aspect psychologique et sa propre perception au froid jouent également un rôle.

Les vêtements ont une grande capacité à nous protéger du froid, car ils agissent en rempart face à la température de l'air pour que notre corps puisse garder la sienne. Leur "efficacité" peut être mesurée via la résistance thermique qu'ils représentent exprimée en $\frac{m^2 K}{W}$ ou plus communément en Clo . En moyenne, un Belge porte un habillement de 0.58 Clo en hiver à l'intérieur. Or, pour chaque 0.17 Clo supplémentaire, il est possible d'espérer gagner 1 [°C] de T_{mi} supplémentaire. Les pratiquants du Slowheating portent en moyenne 1 à 1.5 Clo sur eux [9]. Ces valeurs peuvent être facilement atteintes via les sous-vêtements thermiques à haut pouvoir isolant représentant 0.40 et 0.35 Clo pour respectivement une veste et un pantalon. A eux seuls, ils pourraient permettre de réduire la T_{mi} de 4 [°C]. De plus, ils ont l'avantage d'être discrets et peuvent donc être portés en toute circonstance [47].

TABLE 2.10 – Les sous-vêtements thermiques possèdent une grande valeur de Clo ce qui signifie qu'ils permettent de supporter des températures intérieures plus faibles sans altérer le confort et en restant discret [47].

Catégorie	Pièce de vêtement	CLO	# couches	total	Catégorie	Pièce de vêtement	CLO	# couches	total
sous-vêtement	slip	0.03	0	0	vestes	veste légère d'été	0.25	0	0
	caleçon long	0.10	0	0		vestes	0.35	0	0
	maillot de corps	0.04	0	0		blouse	0.30	0	0
	t-shirt	0.09	0	0	à haut pouvoir isolant, fourrure synthétique	combinaison	0.90	0	0
	chemise à manche longue	0.12	0	0		combinaison	0.35	0	0
	slip + soutien gorge	0.03	0	0		vestes	0.40	0	0
						gilet	0.20	0	0
chemises/corsets	manches courtes	0.15	0	0	vêtement d'extérieur	manteau	0.60	0	0
	légère, manches longues	0.20	0	0		veste en duvet	0.55	0	0
	normales, manches longues	0.24	0	0		parka	0.70	0	0
	flanelle, manche longues	0.30	0	0		salopette en fourrure synthétique	0.55	0	0
	corsage léger, manches longues	0.15	0	0	divers	chaussettes	0.02	0	0
pantalons	short	0.06	0	0		soquettes épaisses	0.05	0	0
	léger	0.20	0	0		chaussettes épaisses	0.10	0	0
	normal	0.25	0	0		bas nylon	0.03	0	0
	flanelle	0.28	0	0		chaussures (semelles fines)	0.02	0	0
robes/jupes	jupe légère (été)	0.15	0	0		chaussures (semelles épaisses)	0.04	0	0
	jupe épaisse (hiver)	0.25	0	0		bottes	0.10	0	0
	robie légère, manches courtes	0.20	0	0		gants	0.05	0	0
	robe d'hiver, manches longues	0.40	0	0					
	combinaison	0.55	0	0					
tricot	gilet sans manches	0.12	0	0					
	tricot léger	0.20	0	0					
	tricot moyen	0.28	0	0					
	tricot épais	0.35	0	0					

Le chauffage de proximité est peu connu ou jugé inefficace pour pallier le chauffage central. Dans le Slowheating, au contraire, il prend une grande place. Il existe une variété d'équipements pour se chauffer localement permettant de faire face à différentes contraintes. La plupart des dispositifs utilisent la conduction ou le rayonnement pour faire parvenir de la chaleur directement sur les individus. Ils sont souvent transportables, ce qui permet en cas de changement de pièce de pouvoir les prendre avec soi, ce qui n'est pas le cas de l'air chaud. Parmi tous les équipements existants, il y a par exemple : cape chauffante, bouillotte, surmatelas chauffant, tapis de souris chauffant, panneau radiant, ...

Comme pour toutes les nouvelles pratiques, des limitations et reproches y sont associés. Ils sont listés ci-après.

1. Une limite qui peut être adressée à la pratique du Slowheating est le nombre peu élevé de personnes l'ayant pratiqué. De plus, la volonté d'être en petit groupe induit probablement des biais d'appartenance. Les pratiquants étant volontaires, ils ont de fait un attrait pour le sujet. Le contexte d'un cadre de recherche permet également de jouir de tout le matériel suffisant, d'un accès rapide aux experts et d'une légitimité à expérimenter. Il faut toutefois remarquer qu'il existe une grande diversité de logements et une variété d'âge allant de 24 à plus de 65 ans.
2. Les normes sociales et la représentation du chauffage dans l'univers collectif provoquent la crainte d'être perçu comme "un bobo-écolo" ou une personne "sans hospitalité". Depuis le contexte de la crise énergétique, la perception de la démarche semble plus accessible.
3. De par la dimension intime que représente la chaleur dans un logement, la discussion au sein d'une colocation n'est pas toujours simple. Une phase de négociation est primordiale pour améliorer les chances de réussite de l'implantation de la pratique.
4. Le chauffage de proximité n'est pas très répandu sur le marché et est parfois considéré comme un gadget plus qu'un outil. De nombreux modèles présentent des défaillances dues à la fragilité de l'assemblage. De plus, aucune industrie ne les produit en Europe ce qui oblige des importations lointaines.

5. Avec la Tmi qui descend dans le kot, l'humidité relative augmente. Une bonne ventilation (5 minutes d'aération toutes les heures de présence dans une pièce) suffit à maîtriser le problème pour peu qu'elle soit possible et fréquente. En dessous de 12 [°C], malgré une bonne ventilation, l'humidité relative devient trop problématique pour pouvoir pratiquer le Slowheating à ce niveau-là.
6. Malgré le passage d'un chauffage thermique (via le chauffage central) à un mode de chauffage électrique (résistances des éléments chauffants), il n'y a pas de report sur l'électricité constatée. Cela s'explique par les faibles puissances utilisées.

Pour résumer, il est important de mentionner que le Slowheating ne propose pas une méthode à appliquer, mais des outils qui permettent de déconstruire les normes de confort actuelles pour reconstruire la pratique du chauffage avec des moyens plus modernes et délocalisés."

2.5 Les stratégies de réduction de consommation d'énergie via le CO adressé à un public étudiant

Les études menées par l'ENERGISE Consortium et le collectif Slowheat se sont pour la plupart adressées à des foyers familiaux. Mais qu'en est-il pour des logements étudiants ? La littérature présente des exemples de réduction de consommation d'énergie de chauffage adressés aux étudiants.

Dans un mémoire réalisé à l'Université de Dayton, un étudiant en master ingénieur civil mécanicien s'est intéressé aux mesures de réduction d'énergie dans les logements étudiants par le CO. Pour ce faire, 484 logements ont été sélectionnés et 297 ont été retenus du fait qu'ils possédaient toutes les preuves de factures d'énergie nécessaires. Un modèle prédictif a été élaboré pour calculer ce que les étudiants auraient dû consommer cette année-là et ce résultat a été comparé avec les dépenses énergétiques réelles. Une note de consommation a été attribuée mensuellement (A-F) à chaque logement pour que les étudiants puissent s'évaluer avec en plus une indication chiffrée des économies réalisées. Le logement qui parviendrait à atteindre les meilleurs résultats se verrait récompensé. L'étude a pu montrer une économie de 7.8% d'économie de gaz fossile et 5.2% d'électricité en moyenne [48].

Un autre mémoire réalisé à Linköping cherche à identifier les facteurs déterminants pour la promotion de comportements pro-environnementaux dans le but de diminuer la consommation énergétique via le CO. Les caractéristiques pour assurer la réussite de ce genre de projet sont : a) informatif, b) orienté vers un objectif précis, c) contraignant, d) comparatif et e) gratifiant. Grâce à ces éléments, l'auteur a pu réaliser un questionnaire à l'intention des étudiants de son université pour identifier une stratégie de mise en place de réduction de consommation d'énergie via le CO dans leur logement. Les résultats sont d'une part, la construction d'un projet incluant un retour d'expérience sur base écologique qui est utile pour promouvoir des comportements pro écologiques au sein des groupes étudiants et d'autre part, que les étudiants sont un groupe avec un potentiel d'attitudes positives envers l'environnement [49].

La Student Energy Race propose à des logements étudiants de réduire le plus possible leur consommation d'énergie. Les meilleurs participants reçoivent un prix. Depuis la première édition en 2012, le défi continue dans 7 autres villes des Pays-Bas. La course est répartie sur 4 mois durant lesquels les étudiants peuvent suivre leur consommation et celles des autres au travers d'une application. Durant l'édition 2017-2018, les participants ont réalisé une économie moyenne de 24% et le logement gagnant a atteint une réduction de 57%. Ces chiffres font directement écho tout d'abord à la borne supérieure de la limite de la littérature sur l'impact du comportement humain et ensuite sur les résultats du collectif Slowheat [50].

À la lumière de ces exemples, le public étudiant n'échappe pas à la règle de réduction de la consommation d'énergie par le CO et présente un bon potentiel au vu des résultats atteints. Toutes ces initiatives utilisent la compétition comme mécanisme de motivation pour atteindre une réduction de la consommation d'énergie, ce qui laisse planer un doute sur la durabilité de ces actions.

Chapitre 3

Méthodologie

Afin de répondre à la question de recherche "Quel est le potentiel d'une pratique de Slowheating dans un kot de l'UCLouvain ?" une expérience a été menée par 8 étudiants dans un kot. L'objectif est de déterminer à quelle température intérieure ils ont choisi de vivre durant tout l'hiver et de déterminer la réduction de consommation d'énergie de chauffage qui en découle. Tous ces étudiants ont un profil personnel basé sur la température de leur chambre et de leur présence déclarée (voir appendix A).

Ces profils sont ensuite intégrés dans un modèle de simulation thermique d'un kot de l'UCLouvain. La comparaison entre les profils observés et un profil d'étudiant classique permet de déterminer le potentiel de la pratique du Slowheating.

3.1 Cadre de référence

3.1.1 Recours à la théorie de l'ethnographie

Même si la démarche du Slowheating est bien définie, sa pratique peut largement varier d'une personne à l'autre. C'est pourquoi il est nécessaire de s'assurer que son incorporation dans une colocation et pour un public étudiant est réalisable. Dès lors, un kot étudiant en a fait l'expérience, ce qui permet de vérifier l'application de la démarche et de quantifier son potentiel.

L'expérience s'est déroulée dans un unique kot pour respecter des contraintes de financement et de disponibilité des encadrants. Avant la mise en place de l'expérience, il convient de construire un cadre expérimental.

Tout d'abord, le suivi d'un groupe d'individus donnés, pendant un certain temps, afin de dégager des observations comportementales dans un contexte précis, peut être assimilé à la réalisation d'une ethnographie. Cependant, le présent travail n'a pas pour prétention la réalisation d'une ethnographie au sens strict du terme, car cela ne répondrait pas à la question de recherche (voir chapitre 1). De plus, il s'agit d'un travail d'ingénieur civil mécanicien et non d'un travail en sciences sociales. Néanmoins, la compréhension de la théorie de l'ethnographie donne une aide pour la construction d'un cadre méthodologique.

L'ethnographie peut être définie comme suit : "La méthode ethnographique est une méthodologie qualitative qui permet de réaliser une étude descriptive et analytique des traditions, us, coutumes et moeurs de populations déterminées. Elle permet de collecter des données ou informations dans un système complexe pour comprendre la dynamique autour des objets. Aujourd'hui, pour comprendre la complexité des sociétés, des communautés et des comportements des individus, la méthode ethnographique est conseillée comme outil et démarche d'approche de terrain de recherche en sciences sociales, humaines et de management." [51]

Comme indiqué dans la définition, la réalisation d'une étude descriptive, la collecte de données et l'approche de terrain sont des éléments qui permettent l'obtention et la communication des résultats. Des entretiens sont souvent menés dans des travaux d'ethnographie, mais ils ne sont pas réalisés ici. En effet, une autre étudiante profitera de la mise en place de l'expérience pour réaliser des entretiens dans le cadre de son travail de fin d'étude en communication (voir section 7.1).

D'après B. Coolsaet (UCLouvain), le grand avantage d'une ethnographie est qu'elle permet une compréhension fine de l'obtention des données grâce à une très bonne connaissance du contexte, ce qui est d'autant plus intéressant dans ce travail, car pour quantifier le potentiel, il est important de comprendre dans quelles circonstances il a eu lieu. C'est pourquoi les données sont constamment soumises à la critique

et à la réflexion afin qu'elles servent d'indicateurs pour des travaux ultérieurs. Cependant, contrairement aux analyses statistiques de grande ampleur, une ethnographie ne peut être dissociée des dynamiques sociales qui y jouent un rôle et elle souffre d'un problème de généralisation.

La compréhension des dynamiques sociales est un sujet d'étude qui mériterait des réponses de la part des sociologues. Une proposition a été faite pour que des membres de cette discipline se joignent au travail, mais cela n'a pas été possible.

Pour ce qui est du problème de généralisation, il est évident que c'est une limitation de ce travail, mais comme dit précédemment, le but de celui-ci est de servir d'indicateur pour dresser de manière la plus exhaustive possible un potentiel de la pratique du Slowheating à l'UCLouvain.

Évidemment, toute ethnographie implique une éthique et une déontologie, c'est pourquoi toutes les données sont anonymisées.

3.1.2 Construction du Laboratoire vivant

L'ethnographie permet d'appréhender une façon de collecter des données via le suivi d'une communauté. Dans le cadre de ce travail, l'objectif est de faire vivre à une colocation étudiante la pratique du Slowheating, ce qui nécessite de poser un cadre précis de ce que l'on attend de la part des participants et de l'interaction avec l'encadrant. Ce cadre est assimilé à la construction d'un "Laboratoire vivant" (LV).

Le projet ENERGISE Consortium a théorisé la construction de LV issue de la théorie de la pratique sociale. Il existe des LV dans les 27 pays de l'Union européenne. Leur objectif, grâce à cette démarche, est d'identifier les différentes cultures énergétiques dans des situations réelles afin de trouver de nouvelles pistes de recherche sur le rôle des routines et des ruptures dans l'évolution de l'utilisation de l'énergie vers une plus grande durabilité [52].

Il est d'abord nécessaire de définir les Laboratoires vivants (LV). "Les (LV) sont des initiatives de changements orientées vers la recherche, à long terme, transformatrices et transdisciplinaires, axées sur la durabilité dans un contexte spécifique. Une particularité est la possibilité d'intégrer des connaissances non-scientifiques dans le processus de recherche [53]. Par rapport à des concepts connexes tels que les laboratoires vivants de tests de produits, les LV se concentrent sur la durabilité et visent à produire des connaissances pertinentes pour la société dans plusieurs domaines ou secteurs sociotechniques." [54].

Le contexte joue un rôle important dans la construction d'un LV [40, 54]. C'est pourquoi 5 catégories de LV ont été identifiées. Cette distinction a été démontrée comme généralisable à différents pays [54]. Elles sont décrites ci-dessous et synthétisées dans la table 3.1.

1. "Needs-based tailored support (NB)" ou "un soutien sur mesure basé sur les besoins (SSM)" : On part des besoins existants du participant pour trouver des solutions qui lui conviennent directement. Le contexte d'activation de ce genre de groupe est très large et n'est pas toujours directement limité à des problèmes énergétiques. Il peut, par exemple, s'agir d'un manque de temps pour s'occuper de sa consommation. Pour réussir ce genre de LV, une compréhension précise du contexte et des problèmes sous-jacents est indispensable pour proposer des réponses précises et adaptées. Les mettre en place n'est pas toujours facile en raison de la réticence des participants à régler ou à s'intéresser aux problèmes. Un suivi objectif et quantifié peut aider à l'implémentation des propositions réalisées par les experts.
2. "Pioneering practices (PP)" ou "pionnier (P)" : La raison d'être principale de ce genre de groupe est la construction de nouvelles pratiques. Le LV sert à fournir un endroit et du temps pour faciliter l'apprentissage en communauté. Ces groupes sont souvent composés d'un nombre réduit de personnes volontaires ayant l'intention de s'intéresser en profondeur aux normes existantes. Le grand avantage de ce genre de groupe est la volonté de changement et la normalisation des nouvelles pratiques adoptées. La diffusion de ces apprentissages est également plus simple à transmettre. Cependant, la diffusion au grand public est un enjeu pour ce groupe compte tenu de la taille réduite des participants.
3. "Challenge, competition, game (CCG)" ou "Défi, compétition et jeu (DCJ)" ont également pour objectif de s'intéresser en profondeur aux normes existantes, mais ils laissent l'individu décider s'il veut les adopter ou non, mesurant uniquement les économies d'énergie réalisées. La mise en place d'un suivi quantitatif est donc indispensable pour ces LV. Ces contextes compétitifs sont souvent

adressés à un large éventail de participants tels que des quartiers résidentiels ou des étudiants. Cependant, il est nécessaire de maintenir une certaine homogénéité parmi les participants pour créer un contexte social adapté au concours. Comme l'apprentissage se fait par le biais du divertissement, les membres du LV n'ont pas ou peu besoin d'être guidés dans la découverte de nouvelles pratiques. Un cadre clair est nécessaire pour permettre aux participants de comprendre les règles et de viser une récompense finale. L'encadrement est d'autant plus important que certains LV de ce type ont connu des échecs lors de leur mise en place.

4. "Learning by doing (LbD)" ou "apprendre en pratiquant" est un type de LV où il est essentiel de fournir aux participants des équipements permettant de suivre l'évolution de leur consommation d'énergie (accès aux compteurs, contrôle de la température intérieure, thermomètre, etc.). L'installation de ces outils ou l'explication de leur fonctionnement doivent servir de base théorique aux participants, afin qu'ils puissent entreprendre par la suite des actions de réduction d'énergie. L'objectif est de renforcer les connaissances des individus pour qu'ils puissent découvrir de nouvelles pratiques. Il est donc nécessaire de donner aux participants la possibilité de se responsabiliser. Des compétences préexistantes en terme de manipulation d'équipements techniques facilitent la mise en place de ce type de LV. Une supervision institutionnelle est importante pour guider et confirmer que les mesures sont réellement efficaces. Cependant, cet accompagnement ne doit être ni directif, ni dirigé.
5. "Peer-to-peer learning (P2P)" ou "apprentissage par les pairs" implique l'apprentissage des comportements de réduction d'énergie par un ou plusieurs pairs. L'objectif est la diffusion, la réplication et la normalisation des nouvelles normes sociales. Le succès de ces LV dépend de la confiance et de la proximité entre les pairs et les participants. Cependant, un risque significatif réside dans le potentiel de domination que peuvent exercer les pairs et il peut être difficile de contrôler la qualité du message qu'ils transmettent.

Les motivations pour réduire sa consommation d'énergie sont principalement des économies financières ou un intérêt pour la transition énergétique [54]. Comme décrit précédemment, certaines approches sont plus adaptées à ces facteurs que d'autres. Les catégories qui nécessitent peu ou pas d'intérêt écologique sont (SSM) et (DCJ) tandis que (ApA) (P2P) et (P) sont plus enclins à impliquer des aspects écologiques. Il est important de noter que ces catégories ne sont pas mutuellement exclusives et les interventions liées à l'une peuvent être pertinentes pour une autre.

TABLE 3.1 – Les 5 catégories de LV généralisables à d'autres pays, leur contexte, leurs mécanismes et les résultats attendus [54].

CATEGORY	CONTEXT	MECHANISM	EXPECTED OUTCOME
needs-based tailored support	■ particularly fitting for vulnerable groups (low-income households, elderly, people with disabilities, non-nationals), but can also fit middle-class or busy parents ■ opportunity to "piggy-back" on other initiatives (e.g., community, school, social) ■ external support, benefits from problem awareness	■ identification of needs, opportunities and obstacles for energy saving specific to the participant group ■ focus on tailoring support on the basis of identified needs to make energy saving easy and fitting into existing practices ■ engagement of wide, supportive network of stakeholders	■ 1. reduced energy demand among groups in specific circumstances and/or ■ 2. social benefits such as reduction of fuel poverty and better living conditions
pioneering practices	■ engages volunteers, usually with a green and/or technical interest ■ diffusion might benefit from the involvement of celebrities, yet exemplars might preferably be similar to potential adopters ■ diffusion depends on the presence of interested channels (media, product developers)	■ challenging and reshaping social norms and existing household practices by testing and showcasing new variants ■ breaking barriers and finding solutions to difficult lifestyle changes ■ showcasing that alternative, low-carbon lifestyles are doable	■ new practices initially developed/ adopted by a small group of volunteers ■ information for product/service development ■ impacts depend on whether the new practices diffuse – via social networks, media, companies or public service providers
challenge, competition, game	■ targets volunteers ■ usually applied in a context where participants recognise peers and can compete on a level playing field ■ has been applied in diverse contexts: students, neighbourhoods, streets, etc. but requires volunteers	■ engages participants through fun, entertainment or rewards (feedback and gratification) ■ challenges practices by creating a temporary space where everyday conventions do not apply	■ permanently reduced energy use through experiences gained during challenge/competition/game period
learning by doing	■ requires context with openness for energy activism by lay people (not everything is automated or expert-controlled) ■ requires motivated participants with basic capacity to use tools or devices	■ Material engagement with meters or DIY home improvements empowers participants to become active and creates energy awareness.	■ enhanced skills and competences, and permanently reduced energy use (also via spill over to domains not originally targeted, e.g., political activity)
peer-to-peer learning	■ requires existing groups of peers underpinned by trust, familiarity and a sense of similarity ■ can be dominated by strong characters and unequal power dynamics	■ social modelling via relevant exemplars, opportunities for discussion and reproduction of practices ■ social normalisation, i.e., reshaping of what is considered normal practice ■ diffusion in social networks	■ permanently reduced energy use via social diffusion of new practices

Tout comme dans l'ethnographie, dans les LV, la notion de cadre de recherche et d'importance de contexte est prépondérante. Un parcours rapide des différentes catégories est effectué ci-après pour déterminer laquelle correspond au mieux à ce travail.

Les NB ne reflètent pas la réalité de notre terrain, car l'expérience exige un changement de pratique de chauffage. Dès lors, leur implication sera importante. Les PP s'apparentent plus aux fondateurs de la démarche du Slowheating plutôt qu'à nos participants. Comme vu dans la revue de littérature, les CCG ont déjà été très exploités dans le public étudiant, c'est pourquoi ils ne sont pas retenus pour ce travail [48, 50].

Les 2 catégories restantes sont LbD ou P2P. Au vu du contexte de ce travail, il est assez clair qu'une approche P2P est celle qui correspond le plus à la réalité de terrain. Cependant, entre une maison familiale et un habitat en colocation, de grandes disparités peuvent exister. C'est pourquoi la pratique du Slowheating va peut-être devoir se réinventer pour correspondre aux besoins différents du cas d'étude, ce qui s'apparente à du LbD.

La catégorie de LV choisie est donc un regroupement entre le "Peer-to-peer" et le "Learning by doing". L'interconnexion entre deux types de LV est relativement fréquente selon les auteurs. De cette manière, il est possible d'éviter les défauts des deux catégories pour exploiter au mieux leurs avantages. De plus, les contextes optimaux pour ces deux catégories sont généralement très proches les uns des autres, comme présenté à la table 3.2.

TABLE 3.2 – P2P et LbD possèdent des éléments de contexte proche pour la construction optimale d'un LV. Ce sont donc ces catégories qui seront choisies pour ce travail [54].

CONTEXTUAL CONDITIONS		BEST FITTING CONTEXTUAL CONDITIONS FOR THE RWL ENGAGEMENT APPROACH					
target group	heterogeneous	NB	LbD	P2P	PP	CCG	homogeneous
participants have pre-existing environmental motivation	nonessential	NB	CCG	LbD	P2P	PP	essential
time commitment required from participants	negligible			NB	P2P	LbD	significant
dependence on institutional and physical characteristics of the built environment	low	NB	PP		CCG	P2P	high
support for participants from external actors (tech experts, service providers)	nonessential	P2P	CCG	LbD	PP		required
existence and nature of relevant social networks among participants	nonessential	NB		CCG	PP	LbD	required
diffusion relies on	external support	NB	CCG		PP	LbD	existing social networks

Comme décrit précédemment, la catégorie P2P peut être un échec si les pairs exercent trop de contrôle sur le LV ou si la confiance des participants envers eux est réduite. Pour pallier ces problèmes potentiels, les membres du LV n'ont pas été mis en contact avec des personnes à l'origine de la démarche du Slowheating. Une explication approfondie a été faite aux participants et puis c'est à eux-mêmes de s'en emparer ou non, ce qui renforce également l'aspect LbD du choix de LV.

Concernant la partie LbD, pour que les membres du laboratoire puissent avoir un suivi de leur consommation, une revue détaillée de la température et de l'humidité relative de leur chambre a été proposée. Des connaissances techniques sont nécessaires au bon fonctionnement de ce type de LV, c'est pourquoi en plus d'une présentation détaillée du Slowheating, une explication sur les techniques générales du bâtiment a été réalisée (explication du thermostat, du rapport entre humidité et température, revues détaillées de l'habillement,...)

Le maître mot qui a été donné aux participants est qu'ils choisissent comme bon leur semble la température de leur chambre tant qu'ils respectent du mieux qu'ils peuvent la hiérarchie des moyens énergétique décrite par Slowheat comme expliqué à la table 2.9.

Finalement, se rapprocher de la théorie de l'ethnographie permet donc d'utiliser une méthodologie établie pour caractériser des données dans un groupe restreint par la compréhension et la contextualisation de celles-ci. La validité de ce genre de travaux est sa faiblesse, c'est pourquoi il faut interpréter les résultats comme des indicateurs et non comme une valeur finale juste et objective. Construire un LV selon un modèle de P2P et LbD permet d'exploiter l'expérience des initiateurs du Slowheating sans être influencé par leur choix tout en laissant la liberté aux participants de valider et de découvrir de nouvelles pratiques de chauffage.

3.2 Cadre expérimental

3.2.1 Choix des kots

3.2.1.1 Choix du kot pour l'expérience

Le choix du kot qui fait l'expérience doit respecter certains critères : acceptation unanime des membres, bâtiment sans problème d'humidité et en capacité d'accueillir l'expérience. Si ces critères ne sont pas remplis, alors celle-ci ne peut pas se dérouler dans ce kot.

Un premier kot situé dans la zone des Blancs Chevaux s'était porté volontaire pour recevoir l'expérience dès le début de l'année académique (1er octobre 2023). Cependant, après plusieurs semaines de mesures et avec le froid de l'automne qui commençait à s'installer, aucune diminution de température intérieure n'a été constatée malgré toutes les vannes des radiateurs sur 0. Après une étude du réseau de distribution de chauffage et une inspection du lieu avec un ingénieur du Service Logistique et Logement Étudiant (LOGE) à l'UCLouvain, il a été conclu que le circuit était surdimensionné. De ce fait, l'expérience n'a pas pu se faire dans ce bâtiment-là.

Suite à cette situation, différents kots ont été investigués pour pouvoir déterminer s'ils disposaient des critères nécessaires à l'implémentation de l'expérience. Ils ont été choisis dans tous les quartiers de la ville pour s'assurer d'une bonne représentativité. Pour ces kots, deux chambres ont été sélectionnées sur base de volontariat de la part de leur propriétaire. Au kot de la zone des Blancs Chevaux ainsi que celui de Hocaille 2, ce sont toutes les chambres qui se sont portées volontaires. Il leur a été demandé de garder la vanne de leur radiateur sur 0 pendant que des mesures de température étaient réalisées chez eux. Durant la semaine du lundi 27 novembre au dimanche 3 décembre 2023, la température moyenne des chambres a pu être identifiée comme récapitulé à la table 3.3.

TABLE 3.3 – Tableau récapitulatif des mesures prises dans différents kots répartis dans différents quartiers de Louvain-la-Neuve durant la semaine du 27 novembre au 3 décembre 2023 afin de choisir le kot qui accueille l'expérience.

Le kot choisi sera Hocaille 2, car il a atteint la moyenne de température intérieure la plus basse durant la semaine du 27 novembre au 3 décembre.

Quartier de Louvain la Neuve	Blancs Chevaux	Biéreau	Bruyères	Hocaille 1	Hocaille 2
Propriété	UCLouvain	UCLouvain	UCLouvain	UCLouvain	Privé
Système de chauffage	Radiateur dans chaque pièce Pas de thermostat	Radiateur dans chaque pièce Pas de thermostat	Radiateur dans chaque pièce Pas de thermostat	Radiateur dans chaque pièce Pas de thermostat	Radiateur dans 4 chambres sur 5 Thermostat Poêle à bois
Température moyenne [°C]	18.05	16.01	19.21	18.86	14.95

Suite à ces mesures, le kot avec la moyenne de température la plus basse a été sélectionné, il permet d'établir le potentiel de la pratique du Slowheating sans avoir de température intérieure "trop haute" par rapport au souhait des occupants. C'est la raison pour laquelle le choix s'est porté sur le kot Hocaille 2 qui a accueilli l'expérience tout au long de l'année. Pour la suite de ce travail, ce kot sera mentionné comme : "kot de l'expérience" (KE).

Ce kot présente l'avantage d'avoir un thermostat programmable par les étudiants, ce qui facilite le choix de la température intérieure du commu. La présence d'un poêle à bois a suscité des interrogations lors de la sélection du kot, car à la connaissance de l'auteur, aucun kot de l'UCLouvain n'en possède un. De plus, contrôler la température intérieure peut être difficile avec un poêle, car on ne choisit pas précisément l'apport de chaleur que celui-ci va amener, ce qui peut avoir un impact sur la température des chambres.

Pour vérifier que cet élément ne constitue pas un problème au bon déroulement de l'expérience, il a été demandé aux occupants de quantifier la masse de bois brûlé par jour, ce qui permet de voir l'impact sur

la température intérieure de la pièce de vie (appelée commu) et des chambres. Après plusieurs semaines, il a été constaté que l'apport calorifique du poêle était davantage d'ordre radiatif que convectif. De ce fait, il ne représentait pas un problème au bon déroulement de l'expérience.

Le caractère radiatif du poêle n'est absolument pas incompatible avec une pratique du Slowheating, bien au contraire. Il est même recommandé dans la démarche d'avoir un élément radiatif puissant (entre 1000 et 1200 W) dans la pièce de vie pour permettre de se réchauffer rapidement en cas de besoin. Donc, la présence de celui-ci a permis d'éviter l'achat d'un élément radiant.

Il est important de notifier que l'auteur de ce travail fait partie du kot sélectionné, ce qui inéluctablement entraîne un biais de désirabilité sociale, conscient ou non-conscient. Bien que tout ait été fait pour réduire l'impact d'un tel biais, il n'est pas possible d'exclure l'influence que cela a pu représenter sur le travail et les résultats obtenus. Dans le cadre de la théorie de l'ethnographie, on parle de participation active où le sujet s'engage comme tous les participants [55, 56].

Enfin, le kot Hocaille 2 respecte tous les critères nécessaires à son choix comme kot de l'expérience malgré le système de chauffage différent de la majorité des kots de l'UCLouvain.

3.2.1.2 Choix du kot pour le modèle informatique

Le choix du kot pour le modèle informatique peut, mais ne doit pas nécessairement être le même que le kot de l'expérience. Idéalement, ce kot doit appartenir à l'UCLouvain et être représentatif d'un kot d'étudiants dont on dispose des données sur une longue période.

Le KE, avec son poêle et son architecture, s'apparente plus à une colocation qu'à un kot même si des étudiants y résident. En effet, ce bâtiment comporte trois façades, un jardin, une buanderie et une cave aménagée. Il est assez rare de voir un kot avec ne serait-ce qu'un seul de ces éléments, or le KE les possède tous. C'est pourquoi, il a été jugé que ce bâtiment n'était pas représentatif des kots de l'UCLouvain, mais ce qui n'empêche en rien le bon déroulement de l'expérience en son sein.

Le choix s'est donc porté sur le kot de la zone Blanc Chevaux, car la prise de mesure y a commencé dès octobre et l'historique de consommation du bâtiment a été rendu disponible par le service LOGE. Le bâtiment est composé de 11 kots similaires qui sont bien plus représentatifs des kots UCLouvain, avec une construction sur trois étages où s'alternent chambres, douches, sanitaires et enfin le commu. De plus, ce kot appartient directement à l'université, ce qui remplit tous les critères de sélection. Pour la suite de ce travail, ce kot sera nommé : "kot du modèle informatique" (KMI) et le bâtiment qui le contient le "bâtiment du modèle informatique" (Bmi). Les plans du Bmi et du KMI sont présentés à l'appendix C.

Le KE et le KMI sont donc deux kots différents situés à deux endroits distincts. Le KE sert pour l'expérience afin de quantifier la température choisie par les étudiants et d'observer leurs comportements. Le KMI sert à intégrer ces observations pour les comparer à des comportements d'étudiants classiques.

3.2.2 Découpage temporel

Une fois le cadre fixé et le kot expérimental choisi, la collecte de données peut s'organiser. Celle-ci doit respecter un découpage temporel de l'année académique. Il convient d'abord d'expliquer le déroulement d'une année universitaire à l'UCLouvain. La rentrée se fait généralement pendant la deuxième quinzaine de septembre (le 18 septembre 2023). S'ensuivent 14 semaines de cours qui sont désignées par un "S" suivi du numéro de la semaine (par exemple S9 correspond à la neuvième semaine). Après cela, les étudiants rentrent en période dite de "blocus" qui correspond à 2 semaines sans cours durant lesquelles ils préparent leurs examens. Enfin, 3 semaines sont prévues pour les évaluations et une quatrième semaine est prévue pour les congés. Tout ceci représente le premier quadrimestre (Q1) de l'année académique.

Le deuxième quadrimestre (Q2) est fort similaire, à la différence près qu'il y a une interruption des cours de 2 semaines début avril. Il se compose donc de 8 semaines de cours, 2 de congé, à nouveau 5 semaines de cours et puis 2 semaines de blocus et 3 d'examens.

D'après l'expérience des étudiants, les différents moments du quadrimestre sont vécus de manière assez variée. Par exemple, les débuts d'années nécessitent moins de travail universitaire et permettent de s'investir dans les projets extra académiques. A l'inverse, les fins de quadrimestre sont souvent un moment

spécifique pour finir certains travaux ou pour préparer les examens futurs.

Pour être le plus complet possible, l'année académique 2023-2024 est divisée en plusieurs phases correspondant à ces variations possibles. A posteriori, cette hypothèse est testée en fonction de la présence des étudiants pour s'assurer de sa pertinence (voir le chapitre 4).

Le découpage temporel est le suivant :

1. Phase de test de deux semaines (S9-S10 Q1, du lundi 13 au dimanche 26 novembre) pour permettre aux étudiants de se familiariser avec la démarche et les équipements Slowheat.
2. Première phase (P1) de 4 semaines (S11 - S14 Q1, du lundi 27 novembre au dimanche 24 décembre) où les étudiants devraient avoir une présence accrue dans leur kot.
3. Phase blocus - examens (B-E Q1, du lundi 25 décembre au dimanche 28 janvier) où la présence peut être très variable d'un individu à l'autre, car certaines personnes préfèrent étudier dans leur famille ou en bibliothèque, là où d'autres restent dans leur logement.
4. Phase de rentrée (P2) de 4 semaines (S1-S4 Q2, du lundi 5 février au dimanche 3 mars) où la présence au kot devrait être la plus réduite.
5. Phase finale (P3) de 4 semaines (S5-S8 Q2, du lundi 4 au dimanche 31 mars) où la prédiction de la présence est difficile à anticiper, car elle varie fortement d'un individu à l'autre.

Ce découpage permet de couvrir tout l'hiver, tout en permettant de discuter l'hypothèse de présence décrite par les étudiants. Il est important de mentionner que les périodes de congé ne sont pas évaluées, car les étudiants sont souvent absents. Il en est de même pour les weekends, car la Belgique étant un petit pays, les étudiants rentrent presque systématiquement dans leur famille pour le weekend.

Une vue synthétique de l'année académique 2023-2024 ainsi que le découpage temporel proposé par l'expérience peuvent être trouvés à la figure figure 3.1.

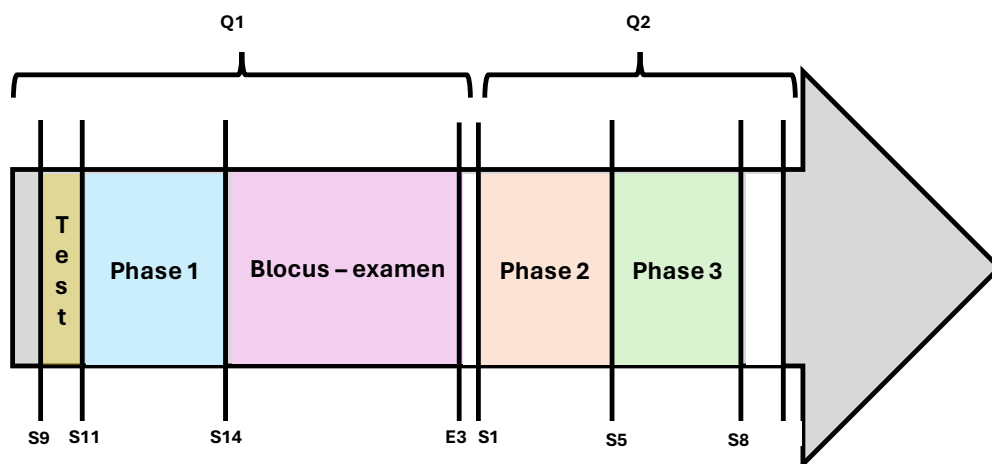


FIGURE 3.1 – Découpage temporel de l'année académique 2023-2024.

NB : L'expérience réalisée au KE a donc commencé au même moment que la semaine de prise de mesure pour choisir le kot qui devait recevoir l'expérience. Cette légère incohérence s'explique par des contraintes de calendrier. L'année étant déjà fortement avancée, le kot Hocaïlle 2 avait déjà montré des signes de possibilités de réduction de température intérieure choisie. L'expérience y a donc commencé plus tôt et les mesures réalisées lors de la semaine du 27 novembre au 3 décembre ont confirmé ce choix.

3.2.3 Matériel de l'expérience

Comme discuté précédemment, les étudiants ont eu comme seule consigne de choisir la température intérieure de leur chambre qu'ils désiraient tant qu'ils respectaient la hiérarchie des moyens énergétiques établie par Slowheat. La température de la pièce de vie communautaire (commu) a été décidée à l'unanimité

après concertation avec l'ensemble des étudiants.

Pour que l'expérience soit possible, il est nécessaire que les participants disposent d'un matériel adéquat. Grâce aux financements de Louvain en Transition, il a été possible d'acheter du matériel utile au Slowheating.

Une liste d'équipements a été proposée aux étudiants et chacun a pu choisir si celui-ci l'intéressait ou non. Le matériel proposé a été le suivant :

- Classe A (0 W) : Sous-vêtement thermique, plaid-pull
- Classe B (<200 W) : Tapis de souris chauffant (50 - 150 W), surmatelas chauffant (20 - 60 W), chaussons chauffant (10 W), bouillottes (200W en 15 minutes), couverture chauffante (10 W)
- Classe C (>200 - 1200<) : Panneau radiant (300 W)

Les étudiants ont également utilisé des équipements qu'ils possédaient déjà comme des bouillottes, des gros pulls en laine, etc.

Une fois l'expérience bien lancée (S12), un constat s'est manifesté : Les invités avaient du mal et ont exprimé un inconfort dans le kot, ce qui s'explique par le manque d'habitude et un habillement qui n'était pas prévu pour l'expérience. Or dans le KE, le nombre d'invités était assez important et le matériel manquait pour les invités.

Afin d'éviter cet inconfort, de grands plaids et des bouillottes supplémentaires ont été commandés et disposés dans le commu à l'intention des invités.

3.3 Collecte de données

La collecte de données doit répondre à deux objectifs principaux. Le premier est de quantifier la performance des étudiants dans l'application d'une pratique de Slowheating dans leur kot. Le second est d'obtenir les données nécessaires à l'implémentation d'une simulation numérique.

Pour ce faire, des profils d'étudiants qui mènent l'expérience sont dressés. Ces profils sont fonction de la température choisie par l'étudiant dans sa chambre et de sa présence dans les différentes pièces du kot.

De manière à anonymiser les données, les profils sont nommés de la manière suivante, le premier chiffre désigne le numéro de la chambre. Si celui-ci est suivi d'un autre chiffre, cela indique qu'il y a deux personnes qui vivent dans cette chambre et si le premier chiffre est suivi d'une lettre, cela indique une succession d'étudiants dans une même chambre entre les quadrimestres (pour cause de départ en Erasmus). L'ensemble des profils est le suivant : 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3, 4.A, 4.B, 5.

Pour illustrer cette convention, voici deux exemples : les profils 1.1 et 1.2 vivent ensemble dans la chambre 1 tout au long de l'année. Le profil 4.A et 4.B indique qu'un étudiant A a vécu durant le premier quadrimestre dans la chambre 4 et qu'un étudiant B y a résidé pendant la suite de l'expérience.

3.3.1 Étude de présence

Comme indiqué au chapitre 1, le secteur du bâtiment représente un très grand poste de dépenses énergétiques et d'émissions de CO_2 . La simulation informatique des comportements de chauffage permet une prédiction plus fine des économies liées à ce poste. La modélisation de ces comportements est d'autant plus importante que l'incorporation ou non du facteur humain dans les modèles peut faire varier les résultats finaux jusqu'à 30% [16, 37]. L'impact du comportement dans la simulation informatique sera détaillé plus en profondeur dans la section suivante (voir section 3.4).

La présence des occupants devient donc un facteur clé, mais l'emploi du temps des étudiants n'est pas toujours le même que celui d'une famille [57]. C'est pourquoi il convient de caractériser la présence des occupants dans leur logement, car celui-ci a un impact majeur sur la consommation d'énergie [13, 17, 32].

Nikdel et al. ont voulu s'intéresser à ce phénomène. Pour ce faire, 41 étudiants ont été suivis durant 4 mois (du 4 février au 4 mai 2018) via une application de géolocalisation sur leur téléphone portable à l'Université de Clarkson aux États-Unis. Ils ont ainsi pu dresser une probabilité de présence des occupants durant une semaine de cours (de lundi à vendredi) et durant le weekend. Ils ont tout d'abord montré que l'intervalle de temps choisi (entre 1 et 10 minutes) ne modifiait pas la qualité des données (voir figure 3.2) [58].

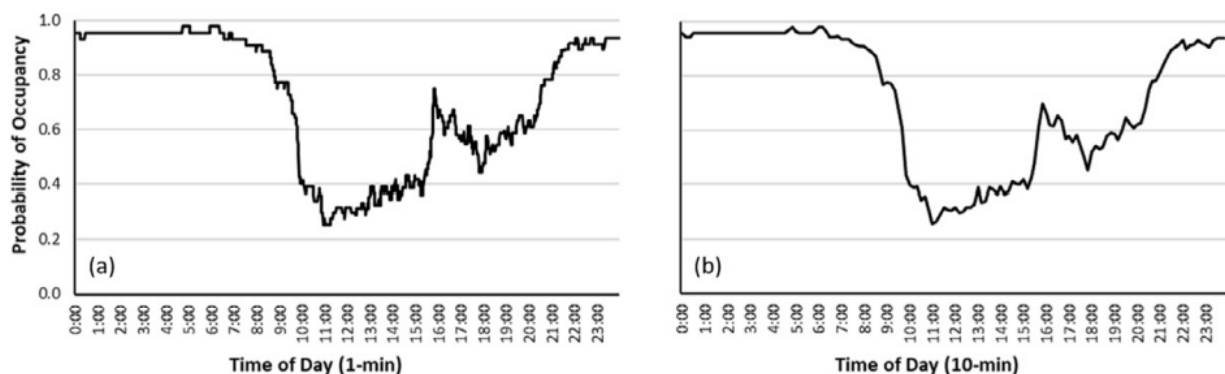


FIGURE 3.2 – Graphique de probabilité de présence des étudiants dans leur logement pendant une semaine de cours. La comparaison de l'intervalle de temps n'a pas d'impact sur la qualité des données présentées [58]. Le pas de temps de l'expérience et de la simulation a donc été choisi à 10 minutes.

Comme discuté par Nikdel et al. un intervalle de temps de 10 minutes est tout aussi représentatif qu'un intervalle d'une minute. Sachant cela, le pas de temps choisi pour l'expérience est une prise de mesure toutes les 10 minutes. De plus, ce choix permet de s'aligner sur le pas de temps des données météorologiques de l'Institut Royal Météorologique (IRM). Un intervalle de 10 minutes correspond à 1008 points de données

pour une semaine, ce qui rend son exploitation plus aisée.

Par la suite, Nikdel et al. ont établi 4 exemples de probabilité de présence d'étudiants pour montrer la diversité qu'ils peuvent représenter. Cette diversité s'explique par : a) un horaire de cours différent, b) des habitudes liées à l'âge et c) leurs occupations (figure 3.3) [57].

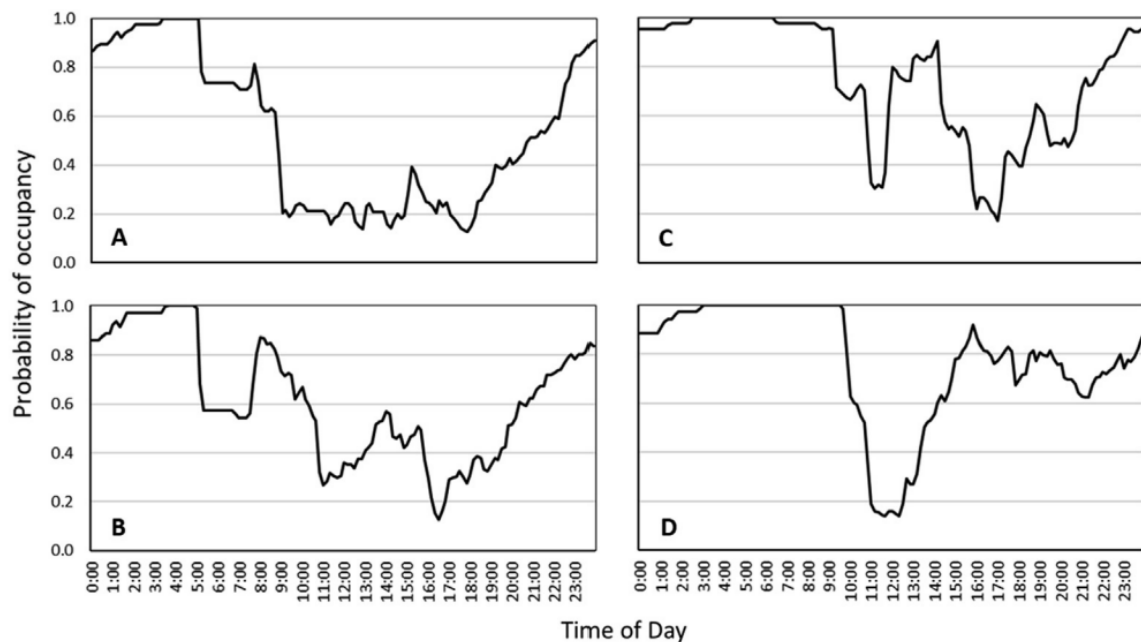


FIGURE 3.3 – Graphiques de probabilité de présence de 4 étudiants différents. Une grande variété de profils existe pour la même population [57].

Finalement, Nikdel et al. montrent la probabilité de présence au cours de la semaine et du weekend. Ils arrivent à l'extraire grâce à leur étude de cas. Pour la semaine de cours (du lundi au vendredi), certains jours présentent des similitudes comme les lundis et mercredis en journée et il en va de même pour les mardis et jeudis. Cette observation s'explique par les programmes de cours. Il est plus difficile de tirer plus de conclusions de ces résultats si ce n'est que les étudiants ont tendance à rester plus dans leur logement en soirée, au plus la semaine avance. Concernant le weekend, les étudiants ont tendance à rester davantage dans leur logement le dimanche en journée et en soirée figure 3.4.

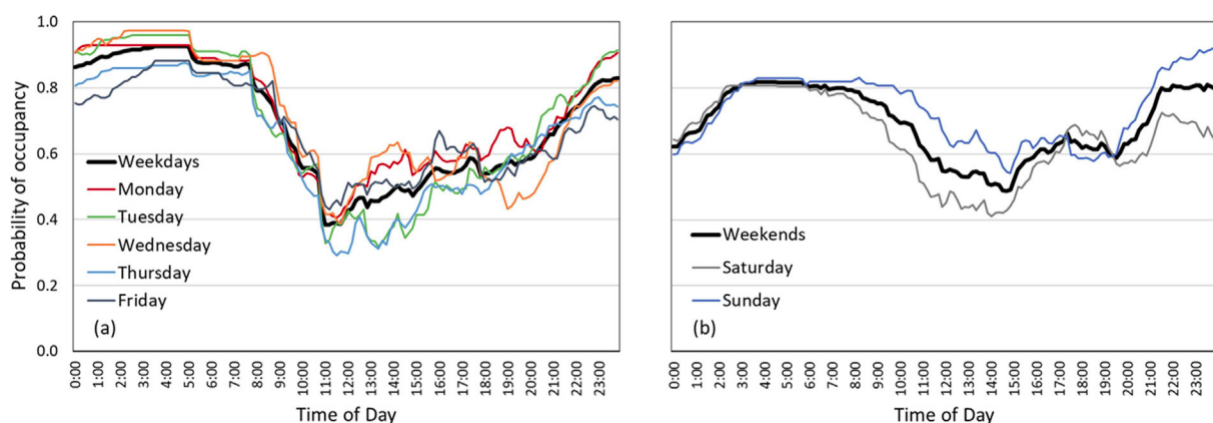


FIGURE 3.4 – Graphiques de probabilité de présence moyenne des étudiants suivis par l'étude durant la semaine de cours et le weekend. Pour la semaine de cours, malgré de légères différences, la moyenne est représentative. Pour le weekend, le samedi et le dimanche sont assez différents avec des étudiants restant plus chez eux le dimanche en journée et en soirée par rapport au samedi [57].

La variabilité de la présence des étudiants dans leur logement rend difficile les économies d'énergie liées à la programmation de la chaudière. De ce fait, l'étude conclut que les hypothèses de présence par défaut intégrées dans les programmes de simulation thermique des bâtiments (STB) sont suffisantes. Les

économies liées à la programmation de la chaudière n'étant donc pas pertinentes, il convient de trouver d'autres stratégies pour la réduction de consommation d'énergie dans les habitats étudiant [57].

L'approche du Slowheating semble donc tout indiquée pour répondre à ce problème. La présence est importante dans le bâtiment car outre le fait de pouvoir programmer la chaudière, l'occupation d'une pièce peut avoir un impact sur la consigne demandée à l'intérieur de celle-ci. Il est bon de rappeler qu'une personne représente entre 70W et 150W de puissance calorifique en fonction de l'activité. Dès lors, la présence d'un étudiant dans sa chambre représente un gain énergétique qui contribue à diminuer la puissance nécessaire à fournir par le système de chauffage. Un cas limite peut se manifester quand des individus s'accumulent dans une pièce. Cela peut permettre de dépasser la consigne désirée dans celle-ci, ce qui réduit la consommation de la pièce, mais les autres pièces perdent leur gain interne et donc doivent plus consommer.

Pour les étudiants dans le KE, des études de présence (EDP) ont été menées. L'objectif principal est de caractériser la présence des étudiants dans le kot et dans quelles pièces du kot. Au total, ce sont 4 EDP qui ont eu lieu en Q1S13, B2, Q2S3 et Q2S7. À savoir une par phase comme expliqué dans le découpage temporel de l'expérience (voir sous-section 3.2.2).

Durant ces études, les étudiants doivent décrire dans quelle pièce ils se trouvent, pour combien de temps et quel type d'activité ils effectuent. Par exemple : chambre 9h-13h étude. Comme dit précédemment, le pas de temps demandé est de l'ordre de 10 minutes. Le passage aux douches-sanitaires a été assimilé à la présence dans la chambre précédente (majoritairement la chambre de l'étudiant) car il n'y a pas de capteur dans ces endroits et pour éviter tout inconfort lié à cette prise de mesure.

Grâce à ces déclarations, il est possible de connaître la présence de la personne dans chaque pièce et donc de reconstruire la température réellement vécue par celle-ci.

La température vécue est la température de la pièce au moment où l'étudiant s'y trouve. De ce fait, la température moyenne vécue est la moyenne des températures que l'individu a réellement rencontrées dans les différentes pièces où il se trouvait. La désignation "Autre" pour les pièces signifie que l'étudiant ne se trouvait ni dans le commu ni dans sa chambre, mais dans le kot (dans la chambre d'un autre membre ou dans des pièces non représentatives d'un kot classique comme la cave aménagée du KE par exemple).

En guise d'illustration, voici le résultat de toutes les EDP du profil 5 figure 3.5.

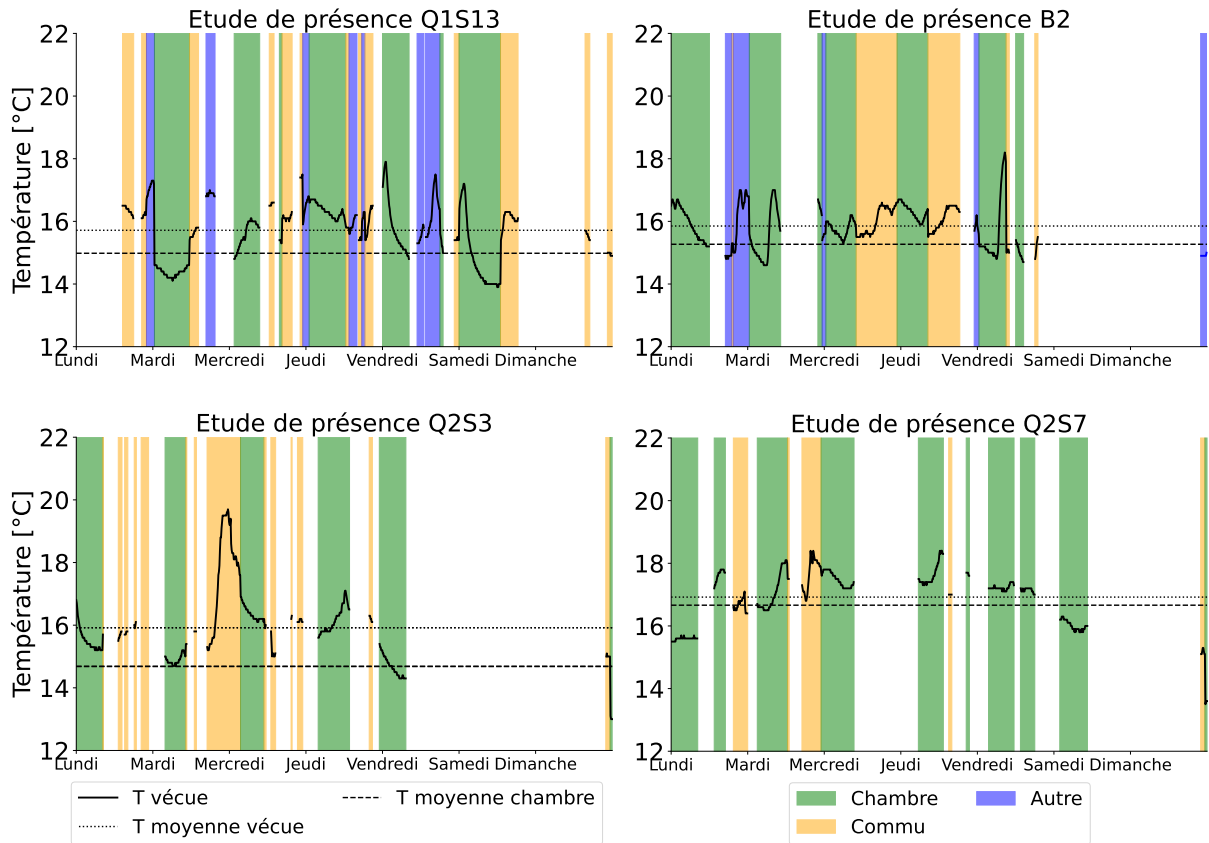


FIGURE 3.5 – Exemple des 4 études de présence (EDP) de la chambre 5. Les EDP permettent d’avoir un aperçu des habitudes des étudiants, de déterminer la température vécue et de construire leur probabilité de présence. Elles mettent en évidence un écart moyen de $0.54\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ entre la température moyenne vécue et la température moyenne de la chambre sur l’ensemble des EDP et des étudiants.

Les 4 EDP de la chambre 5 permettent d’obtenir une première intuition sur les hypothèses de présence fournie à la sous-section 3.2.2, car on y constate des habitudes qui varient fortement d’une période à l’autre et une absence marquée lors des weekends, les différences sont abordées plus en profondeur dans la section 4.1.

Pour l’ensemble des étudiants, sur les 4 EDP de l’expérience, l’écart entre la température moyenne vécue et la température moyenne de la chambre vaut $0.54\text{ [}^{\circ}\text{C]}$. La température moyenne de la chambre est donc un bon indicateur de la température moyenne vécue par un étudiant pratiquant le Slowheating.

Les études de présence permettent donc d’avoir un aperçu précis de la présence des individus dans le kot et plus précisément dans quelle pièce ils se trouvent, ce qui permet d’en déduire une probabilité de présence. Cette notion est importante pour pouvoir dresser une présence liée à l’étudiant et l’incorporer dans le modèle de simulation numérique.

La construction de la probabilité de présence se fait de la façon suivante : Pendant la semaine de cours (du lundi au vendredi), la présence dans chaque pièce est sommée par moment et puis divisée par le nombre total de jours d’EDP (20). Le total signifie la présence au kot, peu importe l’endroit où l’étudiant se trouve. Cette construction pour chaque profil peut être retrouvée à la figure 3.6.

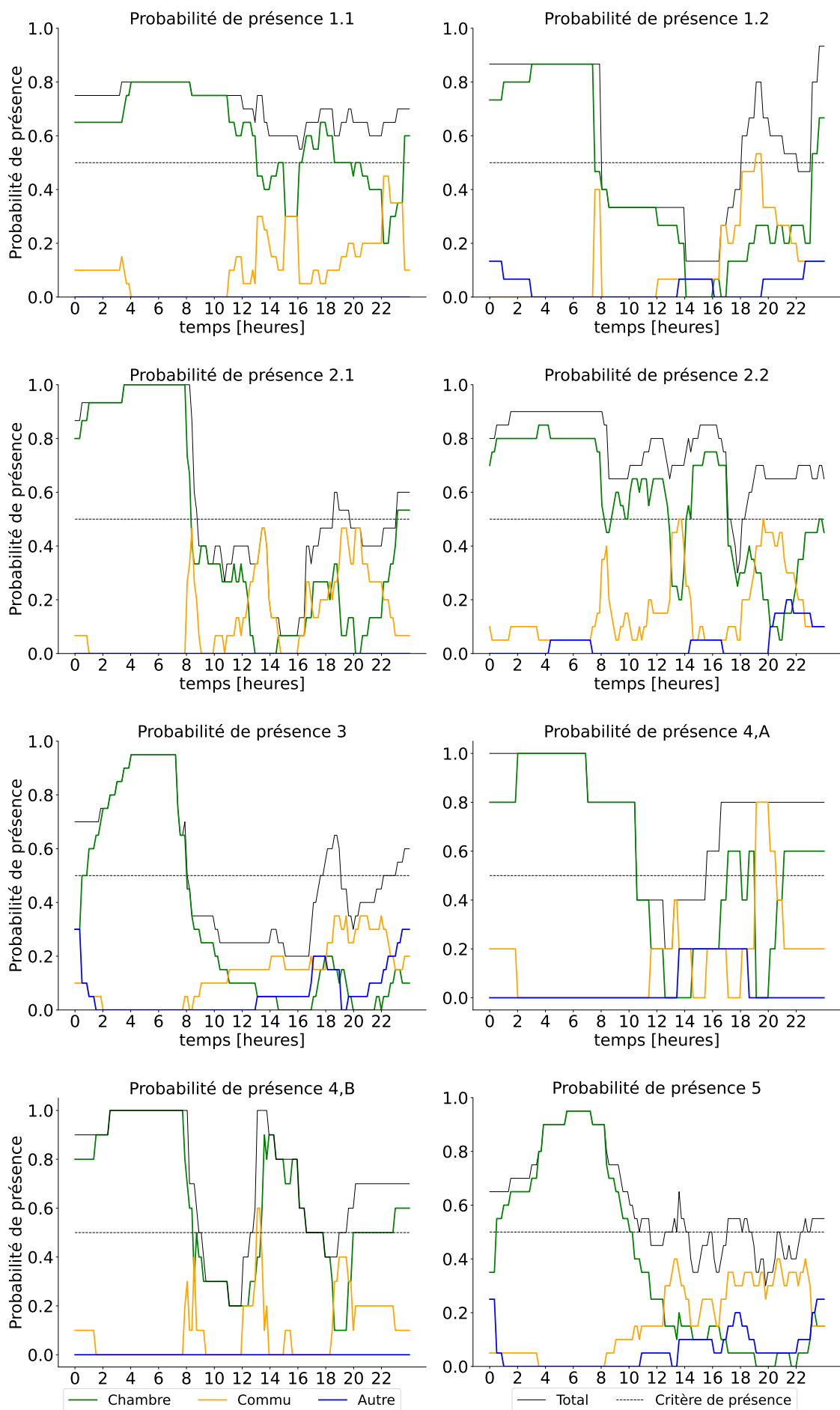


FIGURE 3.6 – Les EDP permettent d’établir des probabilités de présence nécessaires pour construire les présences théoriques. La présence est très variable d’un individu à l’autre comme décrit à la figure 3.3.

Après la construction de la probabilité de présence, la construction des présences théoriques devient plus aisée. Pour ce faire, une ligne en tiret noir est positionnée à 50 % et sert de critère de présence. Si la présence totale (ligne continue noire) est supérieure à 50 % alors l'étudiant est considéré comme présent. Dès lors, c'est la chambre qui possède la probabilité la plus grande qui est considérée comme occupée. Par exemple, pour le profil 2.1, l'étudiant est considéré comme présent de 00h à 8h40, de 18h30 à 19h40 et de 23h00 à minuit. Sur ces trois intervalles, il est considéré comme dans sa chambre de 00h à 8h20, puis dans le commu à 8h20 et de nouveau dans sa chambre de 8h20 à 8h40 et ainsi de suite pour les autres intervalles.

Une fois les présences théoriques obtenus, il est possible de les comparer. Les étudiants en fin d'étude (master) sont très présents dans leur chambre en journée et soirée (profil 1.1, 2.2, 4.A et 4.B). À l'inverse, les étudiants en bachelier sont souvent absents en journée et parfois présents en soirée ((profil 1.2, 2.1, 3 et 5). Toutes les présences théoriques des étudiants peuvent être retrouvés à l'appendix A.

La présence est un facteur important dans la simulation thermique des bâtiments. Cependant, dans le secteur résidentiel et plus particulièrement les kots, elle peut fortement varier d'une personne à l'autre. C'est pourquoi des études de présence ont été menées pour comprendre les habitudes des individus et établir la température qu'ils ont réellement vécue. Les EDP permettent d'établir des probabilités de présence, elles-mêmes utiles pour la construction des présences théoriques nécessaires pour le modèle informatique.

3.3.2 Température et humidité relative

Des capteurs de température et humidité relative (HR) sont disposés dans toutes les pièces de vie du KE et du KMI. De cette façon, la température moyenne du kot et le détail pièce par pièce peuvent être analysés. La température du KMI est mesurée pour s'assurer des hypothèses posées lors de l'implémentation du modèle numérique. Pour le KE, l'objectif est de quantifier la température moyenne que les étudiants ont choisi lors de l'hiver.

Le KE possède des pièces qui ne sont pas présentes dans le KMI telles qu'une cave aménagée et une buanderie. Ces pièces (plus froides en moyennes que les autres) ne seront pas prises en compte dans l'établissement de la moyenne du KE car elles ne sont pas représentatives d'un kot étudiant classique.

Tous les capteurs ont une certification de calibration qui assure une précision de ± 0.5 [°C] et une résolution de 0,1 °C. Pour l'HR, elle peut varier de ± 3 % et une résolution de 0,1% .

Concernant l'humidité relative, la relation physique qui la lie à la température est la suivante : si la température diminue, l'air peut contenir moins de quantité d'eau en absolu, ce qui a pour effet que son HR (en pourcentage) augmente. Si le taux d'HR atteint les 100%, alors l'eau sous forme de vapeur change d'état pour devenir liquide, ce qui peut entraîner des problèmes pour le bâtiment tels que des taches d'humidité ou des moisissures qui peuvent être dangereuses pour l'habitant. Pour limiter ces risques, l'HR doit être inférieure à 75% comme discuté par A. Tilmans, expert chez Buildwise [59].

C'est pourquoi, lors des débriefs hebdomadaires des résultats aux étudiants, une mise en garde est adressée si l'HR dépasse 70% et des mesures de changement de comportements de ventilation sont recommandées si elle dépasse 75%.

Les données de température permettent d'obtenir la température moyenne choisie par les étudiants dans leur chambre, ce qui est nécessaire pour quantifier le potentiel de la pratique du Slowheating, mais aussi important pour alimenter le modèle numérique. Le suivi de l'humidité relative permet de s'assurer de la bonne santé du bâtiment lors de l'expérience et d'obtenir une compréhension des comportements de ventilation de la part des occupants comme décrit ci-dessous.

3.3.3 Ventilation

La ventilation naturelle par le comportement des occupants est un facteur déterminant en ce qui concerne la performance thermique, la qualité de l'air et le taux de moisissure des bâtiments résidentiels [60]. De plus, les circulations d'air dans le bâtiment ont un impact direct sur le confort des habitants en fonction du taux d'HR, de la température de l'air et de sa vitesse [61].

Afin de caractériser la ventilation des chambres des occupants, deux options sont possibles. La première est de se fier à une déclaration de routine de ventilation de la part des étudiants. La deuxième est de se servir des données d'HR pour établir une relation entre la diminution d'HR dans la pièce et la ventilation de celle-ci. Tout d'abord, la question a été posée aux participants et les réponses peuvent être résumées comme suit :

- Ventilation rapide le matin et le soir
- Ventilation longue le matin
- Ventilation durant toute la nuit
- Ventilation sur le temps de midi
- Pas de ventilation

Aucune corrélation n'a été détectée entre la déclaration des occupants et les relevés d'humidité relative. Grâce aux graphiques d'HR, il est possible de constater qu'à certains moments de la journée, des descentes nettes d'HR ont lieu. Ces ruptures sont assimilées à des comportements de ventilation.

En effet, l'air extérieur possède une HR plus élevée qu'à l'intérieur, mais la température extérieure est également très faible (en hiver). Donc, quand l'air extérieur rentre dans le bâtiment, comme sa température augmente, il peut contenir plus d'HR. À l'inverse, dans le bâtiment règne une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur à laquelle viennent s'ajouter des sources de vapeur d'eau supplémentaire telles que la respiration des occupants, le séchage du linge, la cuisine, etc. Donc dans le bâtiment, l'HR est la plupart du temps supérieure à celle de l'extérieur. C'est pourquoi les descentes nettes sont assimilées à de l'air extérieur qui vient diminuer la quantité d'humidité relative de l'intérieur.

Cependant, aucune déclaration des étudiants ne correspondait aux observations. Différentes techniques de visualisation des données ont été mises en place pour s'assurer de cette déclaration. Tout d'abord, avec une visualisation hebdomadaire de l'HR sur plusieurs semaines d'expériences, aucun pattern n'a été identifié. Des graphes de température - humidité absolue avec des courbes d'iso-humidité relative ont également été implémentés sans pouvoir distinguer la moindre répétition des comportements.

Finalement, la ventilation est caractérisée par une diminution de 5% d'HR en moins de 20 minutes. Ce critère subjectif correspond à ces diminutions nettes d'HR décrites plus haut. Il présente des limites évidentes. Par exemple, une pièce très sèche qui serait ventilée pourrait ne pas voir son HR diminuer suffisamment. Cependant, en l'absence d'autres possibilités, c'est cette méthode qui a été retenue.

Avec ce critère, il est possible de parcourir toutes les données d'HR disponibles pour établir un nombre et une fréquence de ventilation par jour, ce qui permet de déterminer l'heure de la journée où la ventilation est la plus fréquente.

Cette démarche a été dans un premier temps appliquée au KMI. Caractériser la ventilation de ce kot est nécessaire pour le modèle numérique par défaut. Comme indiqué précédemment, des capteurs de température et d'HR étaient disposés dans toutes les chambres, le commu et l'entrée du kot. La totalité des données a été soumise au critère discuté ci-avant. Quand celui-ci est respecté, la somme des moments à laquelle il a eu lieu divisé par le nombre de jours possibles donne la moyenne journalière de ventilation du KMI. Ce résultat est présenté à la figure 3.7.

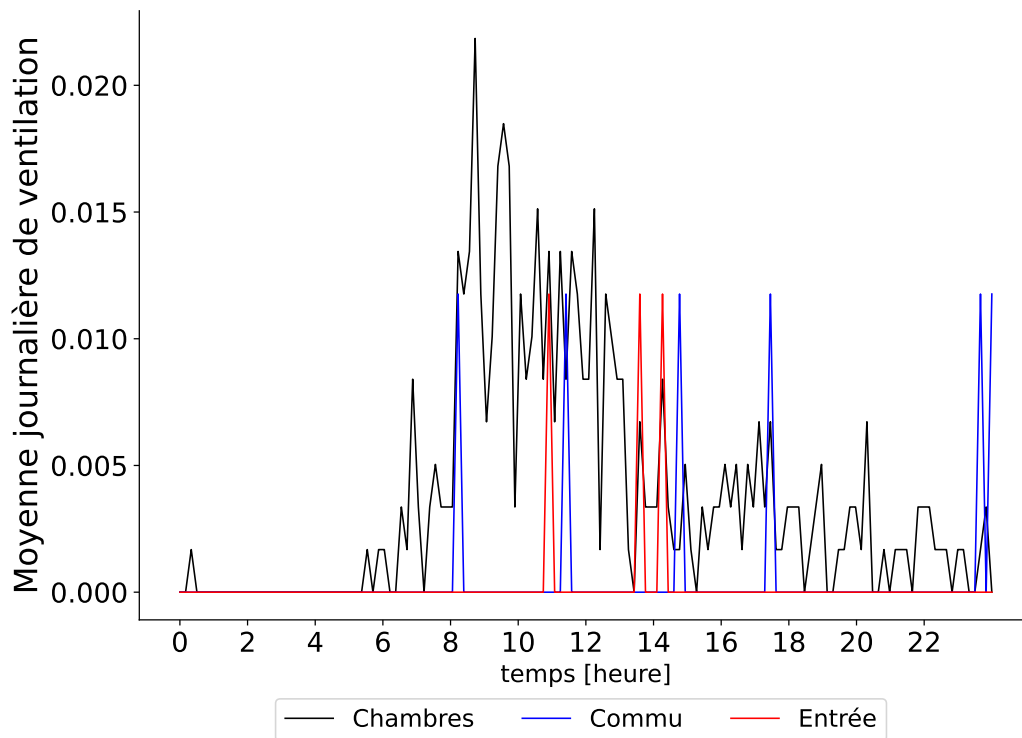


FIGURE 3.7 – Les chambres du KMI sont les pièces les plus ventilées du kot. En moyenne, les étudiants ventilent le plus souvent à 8h00 dans leur chambre, à 14h00 dans l'entrée et à 23h30 dans le commu. Les chambres ont une probabilité de ventilation de 65 %. Le commu ainsi que l'entrée du kot ont une probabilité de 0.07% de ventilation par jour.

Expliciter la moyenne de ventilation permet de déterminer à quel moment de la journée les pièces sont ventilées. Cela permet également de déterminer la probabilité de ventilation comme étant la somme de toutes les ventilations divisée par le nombre possible de ventilations. Dès lors, les chambres ont une probabilité de ventilation de 65 %. Le commu ainsi que l'entrée du kot ont une probabilité de 0.07% de ventilation par jour dans le KMI.

La même démarche est appliquée au KE. On y constate une ventilation 2,5 fois moins importante que dans le KMI. Ces deux résultats sont incohérents aux premiers abords, car un kot avec une température intérieure significativement plus basse (~ 5 [°C] de moins) devrait avoir un taux d'HR nettement supérieur impliquant de plus nombreuses ventilations pour la sécurité du bâtiment (comme discuté à la sous-section 3.3.2).

Cette incohérence peut cependant être expliquée par les infiltrations d'air du KE. Chaque bâtiment possède une étanchéité à l'air différente. Dès lors, si le KE est très peu étanche, les échanges d'air naturel seront suffisants pour maintenir un taux d'HR suffisamment bas pour ne pas devoir ventiler trop souvent.

Le KMI et le KE possèdent chacun une étanchéité à l'air différente. Dès lors, par souci de cohérence, le comportement de ventilation du KMI est maintenu dans la simulation informatique et ce même quand les profils des étudiants pratiquant le Slowheating sont intégrés.

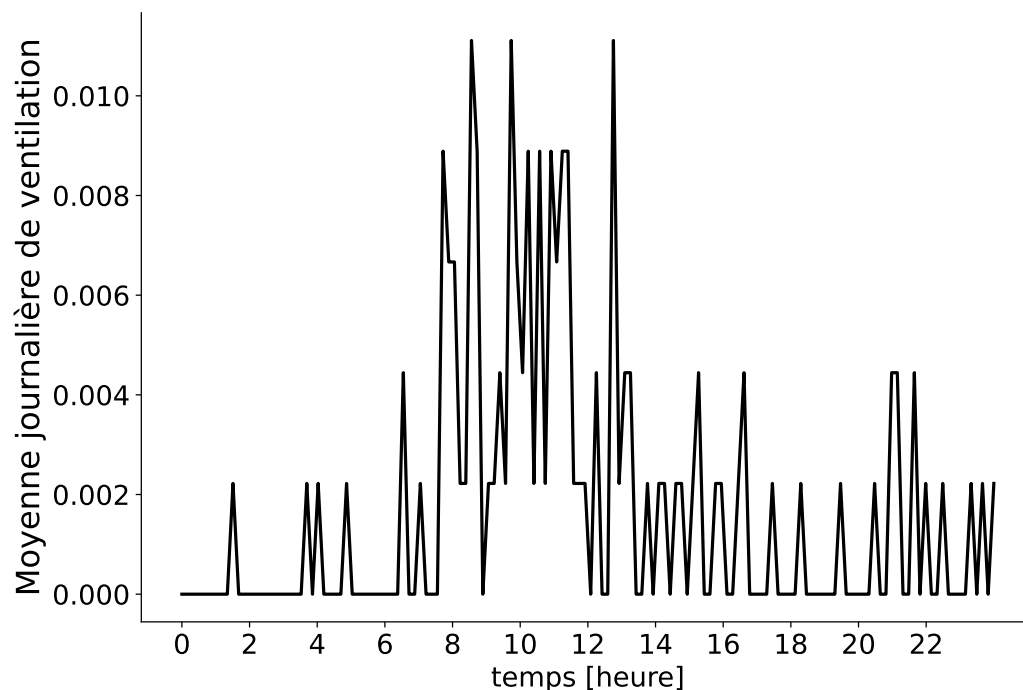


FIGURE 3.8 – Les étudiants du KE ventilent 2.5 fois moins que les occupants du KMI. Ceci est probablement dû aux différentes étanchéités à l’air des deux kots. La simulation numérique se passant dans le KMI, ce sont les comportements de ventilation des occupants du KMI qui sont utilisés dans la modélisation informatique même lors de l’intégration des profils Slowheat.

Les profils de ventilation des étudiants du KE n’intègrent donc pas la simulation numérique. Ces comportements peuvent toutefois être retrouvés à l’appendix A.

La ventilation des pièces est déterminée par le critère d’une diminution de 5% d’HR en moins de 20 minutes. Grâce à celui-ci, il est possible de montrer que la ventilation des chambres du KMI se fait majoritairement en matinée pour les chambres, en après-midi pour l’entrée et en soirée pour le commu. Le KMI et le KE possédant chacun des étanchéités à l’air différentes, les comportements de ventilation du KMI seront les seuls simulés lors de l’exploitation du modèle informatique.

3.3.4 Mesures électriques

Dans le matériel de l’expérience et conformément aux propositions de la démarche Slowheat, des éléments électriques de basse puissance ($> 300\text{ W}$) sont proposés aux participants. Dès lors, il convient de mesurer leur consommation afin de s’assurer qu’elle soit largement inférieure aux économies d’énergie thermique obtenues.

Pour ce faire, un petit système électrique est placé dans chaque pièce. Il est composé d’un dédoubleur de prise, d’un enregistreur électrique, d’un timer électrique et d’une rallonge comme présenté sur la figure 3.9.

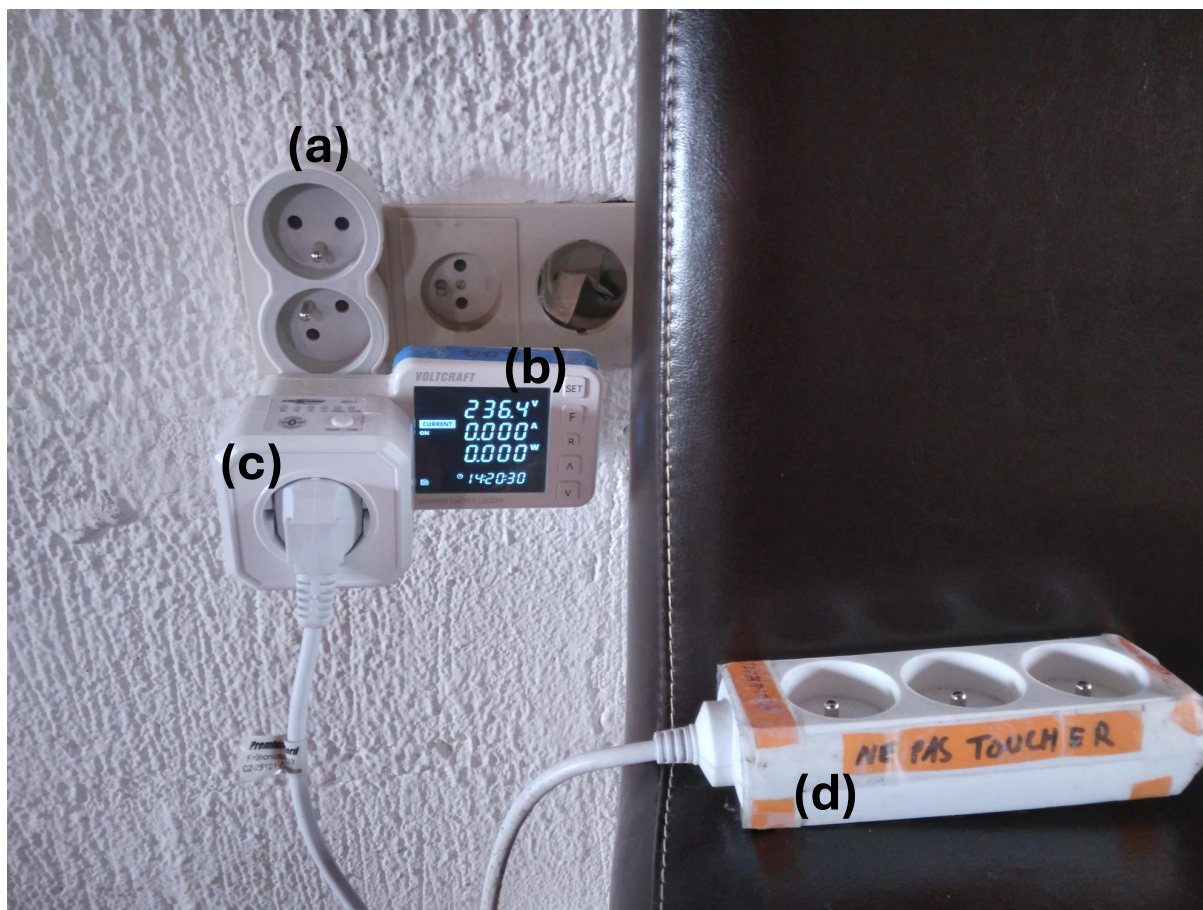


FIGURE 3.9 – Le système électrique permet de mesurer la consommation énergétique de l'utilisation des appareils électrique de l'expérience (aucun autre appareil ne peut être branché dessus). Il est composé de : a) un dédoubleur de prise, b) un enregistreur électrique, c) un timer électrique et d) une rallonge.

Le timer électrique doit être activé pour que le courant puisse circuler dans le système. Grâce à cela, les participants peuvent décider du temps de chauffage de proximité dont ils ont besoin sans devoir penser à éteindre l'appareil à la fin, ce qui permet d'éviter les oublis. Il s'agit également d'un élément de sécurité dans le cas où les étudiants s'endorment en utilisant un élément électrique.

L'enregistreur électrique permet d'avoir un suivi de la consommation des équipements Slowheat durant l'expérience. Le pas de temps n'est pas programmable et est d'une prise de mesure toutes les minutes. Une fois les données extraites, la consommation finale peut être évaluée.

Le système électrique sert donc à s'assurer du temps d'utilisation et de la sécurité des utilisateurs. De plus, il permet un suivi de la consommation électrique des appareils Slowheat (et uniquement ceux-ci) pour s'assurer qu'elle soit largement inférieure aux gains réalisés sur la consommation thermique.

3.4 Simulation thermique

Cette partie sert à décrire la simulation thermique du KMI grâce au logiciel TRNSYS. La description et les hypothèses sont dans un premier temps discutées et finalement une analyse de sensibilité des paramètres importants est effectuée.

3.4.1 Hypothèses générales

Construction du modèle

Le KMI est construit de la manière suivante (voir l'appendix C) :

- **-1** : Un vide ventilé en sous-sol avec une porte de garage
- **Rez-de-chaussée (RDC)** : Composé d'une entrée, de 3 chambres, d'une toilette et d'une douche.
- **+1** : Composé de 4 chambres, d'une toilette et d'une salle de douche.
- **+2** : Composé de 2 chambres, d'une toilette et d'une salle de douche.
- **+3** : Le commu, il prend toute la surface et possède une cuisine.

La construction du modèle commence par la définition de différentes zones. Les zones ont été définies comme suit : une zone pour le vide ventilé, une zone pour l'entrée, une zone pour chaque chambre, une zone pour les couloirs et sanitaires et une zone pour le commu. Pour toutes ces zones, les surfaces, volumes et murs sont encodés grâce aux plans fournis par le service LOGE. La capacitance de chaque pièce est définie par défaut comme étant le volume de la pièce multiplié par la capacité thermique de l'air. Cette valeur a été multipliée par 5 pour virtuellement incorporer la capacité thermique du mobilier présent dans la pièce (van Moeseke UCLouvain).

Le logiciel utilise des données météorologiques normées sur 30 ans depuis la station météo d'Uccle. La simulation s'effectue avec un pas de temps de 10 minutes pour correspondre aux pas de temps de l'expérience et elle s'étend sur une année complète de 365 jours.

Les matériaux présents dans les murs du kot sont directement notés sur les plans fournis par LOGE. Ils se constituent en majorité de briques, planches de cèdre, laine de verre, fenêtres simple vitrage. Les U_{values} des surfaces extérieures valent : $0.474 \frac{W}{m^2K}$ pour le mur extérieur, $0.475 \frac{W}{m^2K}$ pour la toiture et $5.68 \frac{W}{m^2K}$ pour les fenêtres simple vitrage. La U_{value} indique la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré d'un matériau ou d'un ensemble de matériaux pour une différence de température d'un kelvin entre l'intérieur et l'extérieur. Au plus la U_{value} est faible (proche de 0) au plus l'isolation de la paroi est efficace. Inversement, une U_{value} élevée indique une mauvaise isolation.

Une fois ces paramètres fixés, une multitude d'hypothèses doit être émise pour correspondre au fonctionnement réel du kot. Celles-ci seront soit sourcées, soit estimées, soit directement mesurées dans le KMI grâce aux capteurs présents. Pour les paramètres les plus importants, une analyse de sensibilité est effectuée à la section dédiée pour appuyer le choix des valeurs par défaut définitives.

La température a été mesurée dans toutes les pièces du KMI à l'exception des couloirs et des sanitaires. L'infiltration d'air dans le bâtiment est impossible à estimer et difficile à mesurer car pour ce faire, il faut recourir à un essai de pressurisation ou par une analyse au gaz traceur, ce qui n'a pas été conduit dans ce travail. La présence par défaut des occupants correspond à une journée supposée type des étudiants, à savoir dans leur chambre de minuit à 8h00, de 18h30 à 20h00 et dans le commu de 13h10 à 13h40, de 20h00 à minuit du lundi au vendredi et tous absents le weekend.

Pour la ventilation, le critère d'une diminution de 5% d'HR en 20 minutes permet de quantifier le nombre de ventilations de la part des occupants et l'heure de la journée à laquelle elle a lieu. Dès lors, il est possible d'exprimer le taux de renouvellement de l'air en $\frac{1}{h}$ via la relation suivante :

$$\text{taux de renouvellement} = v * \frac{S}{2} * 0.6 * \nu * \frac{3600}{V} \left[\frac{1}{h} \right] \quad (3.1)$$

où :

- v = vitesse de l'air extérieur supposée à $1 \left[\frac{m}{s} \right]$
- $\frac{S}{2}$ = surface de la fenêtre $[m^2]$ supposée ouverte à moitié, car impossibilité d'ouvrir les fenêtres en oscillo-battant
- 0.6 est le coefficient de décharge qui représente la proportion de flux d'air rentrant dans la pièce [62]
- ν la probabilité de ventilation observée dans le KMI qui vaut 65% pour les chambres, 7% pour le commu et 7% l'entrée voir figure 3.7
- V = volume de la pièce

Toutes les hypothèses peuvent être retrouvées à la table 3.4.

TABLE 3.4 – Les hypothèses du modèle sont mesurées, justifiées ou calculées pour appuyer leur validité.

	Valeur retenue	Justification
Température commu	20 [°C]	Mesure à 19.96 [°C] durant 18 semaines
Température couloirs et sanitaires	20 [°C]	Hypothèse personnelle d'équivalence avec le commu
Température chambres	19 [°C]	Mesure à 19.03 [°C] durant 18 semaines
Température entrée	18 [°C]	Mesure à 18.04 [°C] durant 7 semaines
Température mur mitoyen	20 [°C]	Hypothèse personnelle basée sur [30, 63]
Température mur du vide ventilé	Température moyenne mensuelle de l'air extérieur [°C]	LBARC1360
Infiltration d'air dans l'ensemble du bâtiment du KMI	24 heures par jour : 0.435 [$\frac{1}{h}$]	Valeur par défaut PEB [64]
Présence par défaut chambre	00h00 - 8h00 18h30 - 20h	Hypothèse personnelle Discuté avec les étudiants du KMI
Présence par défaut commu	13h10 - 13h50 20h00 - 00h00	Hypothèse personnelle Discuté avec les étudiants du KMI
Taux de renouvellement de l'air chambre 1	20 minutes par jour : 33.94 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre 2 - 4 - 6	20 minutes par jour : 43.61 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre 3 - 5 - 7	20 minutes par jour : 41.8 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre 8	20 minutes par jour : 29 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre 9	20 minutes par jour : 27.8 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre commu	20 minutes par jour : 3.73 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)
Taux de renouvellement de l'air chambre entrée	20 minutes par jour : 7.88 [$\frac{1}{h}$]	eq. (3.1)

Les murs mitoyens aux autres kots sont considérés comme ayant une température de 20°C. Ce paramètre fera l'objet d'une étude de sensibilité dans la sous-section suivante pour dans un premier temps, tester l'impact de ce paramètre et dans un second temps, quantifier l'impact du "vampirisme thermique" mentionné dans [10].

3.4.2 Analyse de sensibilité

Une fois le modèle par défaut établi, il convient de tester sa sensibilité pour déterminer quels paramètres ont le plus d'impact lors de l'exploitation du modèle.

L'analyse de sensibilité se concentre sur les paramètres relatifs aux comportements des usagers, à savoir : la température, la présence, l'infiltration d'air, la ventilation et la température des murs mitoyens. Pour chacun de ces paramètres, une variation entre les extrêmes possibles est effectuée dans toutes les pièces du KMI. Le modèle par défaut comme décrit précédemment est utilisé et seul le paramètre explicité variera.

Température :

Celle-ci est testée entre 13 [°C] et 23 [°C] avec une augmentation de 1 [°C] à chaque itération. Ces valeurs sont choisies, car 13 [°C] est la moyenne la plus basse observée sur 2 mois au KE et 23 [°C] correspond à un choix basé sur les recommandations de confort actuelles [30, 63].

L'infiltration d'air :

Elle est testée avec une valeur n_{50} comprise entre 0.6 et 40 [$\frac{m^3}{hm^3}$] ce qui correspond à un taux de renouvellement de l'air par infiltration de 0.3 à 2 [$\frac{1}{h}$]. La valeur de 0,6 [$\frac{m^3}{hm^3}$] correspond aux standards des maisons passives [65, 66] tandis que la valeur de 40 [$\frac{1}{h}$] est représentative de très vieux bâtiments [65].

La ventilation de la part des occupants :

Elle est testée selon les taux de renouvellement d'air cité à la table 3.4. La variation a donc été réalisée sur le temps de ventilation de toutes les pièces en commençant par aucune ventilation jusqu'à 1 heure de ventilation de toutes les pièces avec une augmentation de 10 minutes entre chaque itération.

La présence :

Elle est testée selon le nombre d'heures que les étudiants passent dans leur chambre et le commu. Elle est minimale s'ils ne sont jamais présents et maximale s'ils le sont toujours tout au long de l'année académique.

La température des murs mitoyens :

Il s'agit de la température que les voisins vont choisir dans leur logement. Le KMI possédant deux façades mitoyennes, elles seront toutes les deux testées en même temps avec la même valeur. Cette variation de température s'incrémente d'1 [°C] par itération entre 13 [°C] et 23 [°C] pour les mêmes raisons que la température intérieure du kot mentionné ci-avant.

Ces différentes variations de paramètres sont regroupées et présentées à la figure 3.10

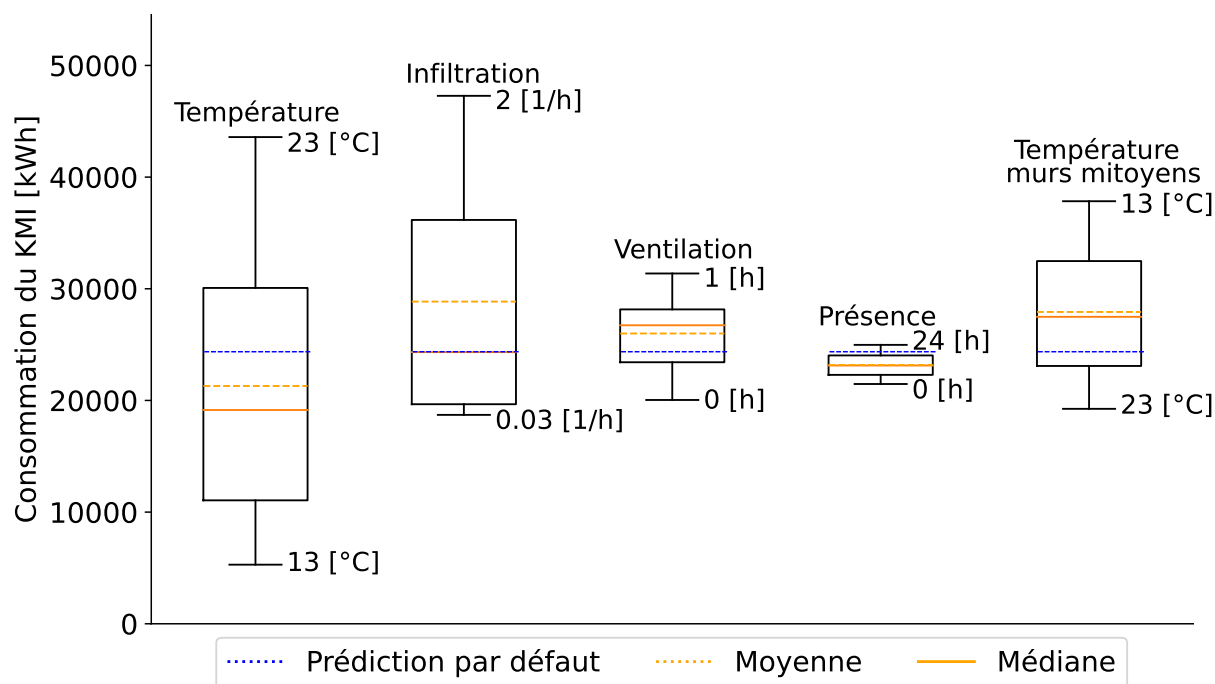


FIGURE 3.10 – La température est le paramètre qui influence le plus la consommation d'énergie du KMI ce qui explique la pratique du Slowheating d'organiser une réduction du choix de la température intérieure moyenne.

L'infiltration d'air est le deuxième paramètre le plus important qui influence la consommation d'énergie du KMI. L'hypothèse faite sur sa valeur (valeur par défaut PEB [64]) est donc la plus critique du modèle.

Grâce à l'étude de sensibilité des différents paramètres caractéristiques de la simulation thermique du bâtiment, on peut déterminer que le paramètre qui a le plus d'influence sur la prédiction de consommation du modèle est la température. La valeur dans le modèle par défaut est bien établie grâce à des mesures réalisées durant les 18 semaines de l'expérience dans un des 11 kots (KMI) du bâtiment (Bmi).

L'infiltration d'air est le deuxième paramètre ayant l'impact le plus grand sur la prédiction. L'estimer est impossible, mais il est possible de le mesurer via un test à 50 Pa afin d'obtenir un résultat précis. Cependant, ce genre de test étant relativement compliqué à mettre en place, il n'a pas été effectué dans le cadre de ce travail et c'est pourquoi la valeur issue de la norme Performance Énergétique des Bâtiments (PEB) par défaut ($n_{50} = 8.7 \frac{m^3}{hm^3}$ ou $0.435 [\frac{1}{h}]$ [64]) est retenue. C'est donc l'estimation la plus critique du modèle informatique étant donné qu'il s'agit d'une valeur par défaut.

La ventilation de la part des occupants est difficile à caractériser et a été assimilée à un critère d'une diminution de 5% d'HR en 20 minutes ce qui permet de quantifier une probabilité de ventilation au moment de la journée où celle-ci a eu le plus souvent lieu. Malgré ces difficultés, l'étude de sensibilité montre que la ventilation n'a pas un impact aussi prépondérant que la température moyenne intérieure ou l'infiltration d'air. Le choix du critère est donc intéressant car il permet de quantifier objectivement la ventilation sans avoir un impact trop prépondérant sur le modèle.

La présence des occupants représente peu d'apport thermique dans le kot, car la puissance thermique d'un individu est de 95W. Cependant, c'est quand les individus sont présents qu'il est nécessaire de chauffer. C'est pourquoi quantifier précisément la présence permet de mieux ajuster l'activation du chauffage d'une pièce.

L'étude de sensibilité met en évidence que la température des murs mitoyens a un impact significatif sur la prédiction du modèle informatique. C'est ce qu'on appelle le "Vampirisme thermique" qui fera l'objet d'une discussion dans la sous-section 4.2.1.3.

L'étude de sensibilité permet de mettre en évidence que les prédictions de consommation via des logiciels de simulation thermique des bâtiments possèdent une grande sensibilité et sont donc très dépendantes des hypothèses qu'elles utilisent.

3.4.3 Validation du modèle par défaut

3.4.3.1 Recours aux Degrés-jours

Une fois les paramètres par défaut encodés, il est possible de déterminer la consommation annuelle du KMI et de la mettre en relation avec les données réelles du bâtiment identifiées sur les années précédentes. Le bâtiment (Bmi) est composé de 11 kots similaires à celui de la simulation, la consommation du KMI est donc multipliée par 11 pour pouvoir la comparer avec les données fournies. Cette démarche sert à valider la cohérence du modèle. LOGE a fourni les consommations énergétiques du Bmi entre le 14 septembre 2020 et le 21 septembre 2023.

Il est possible de rapporter ces consommations aux besoins de chauffage de ces années-là. Pour ce faire, le recours aux Degrés-jours est nécessaire. Pour rappel, les Degrés-jours sont un calcul pour expliciter la demande en chauffage d'un bâtiment en fonction de la température moyenne journalière de l'air. De cette façon, un lien peut être établi entre la consommation de chauffage et la nécessité de chauffer en fonction de la météo. En Belgique, ils sont calculés comme suit [67] :

$$DJ = 16.5 - T_{air, \text{ exterieur }} [^{\circ}C] \quad (3.2)$$

où :

- DJ est la valeur de Degrés-jours
- $16.5 [^{\circ}C]$ est une valeur fixée [67]
- $T_{air, \text{ exterieur }}$ est la température moyenne journalière de l'air extérieur

Pour prendre en compte l'inertie du bâtiment, la formule suivante est utilisée :

$$DJ_{\text{équivalent}} = 0,6 * DJ[i] + 0,3 * DJ[i - 1] + 0,1 * DJ[i - 2] [^{\circ}C] \quad (3.3)$$

où :

- $DJ_{\text{équivalent}}$ est la valeur de Degrés-jours équivalent
- $DJ[i]$ est la valeur de Degrés-jours de la journée
- $DJ[i - 1]$ est la valeur de Degrés-jours de la veille
- $DJ[i - 2]$ est la valeur de Degrés-jours de l'avant-veille

Il est possible de mettre en relation ces consommations avec les Degrés-jours correspondant à ces périodes. La même démarche a été appliquée aux données météo utilisées par le modèle et fournies par la librairie de TRNSYS en utilisant les Degrés-jours normaux équivalents calculés sur une moyenne des températures entre 1991 et 2020 [67]. Dès lors, en appliquant l'eq. (3.3), 2553 Degrés-jours sont obtenus en besoin de chauffage pour le modèle climatique fourni à la simulation.

3.4.3.2 Conversion énergie primaire en énergie secondaire

Les données fournies par LOGE correspondent à l'énergie primaire du bâtiment du modèle informatique (Bmi) en kWh. Il faut donc leur associer des pertes liées à la transformation en énergie secondaire. On peut compter des pertes à la chaudière et des pertes dans le réseau de distribution. Cette énergie primaire est ensuite transformée en énergie secondaire qui est elle-même liée à la production d'eau chaude sanitaire (ECS) dont il faut estimer la part liée dans la consommation.

La perte à la chaudière est estimée à 15%, car le rendement maximal de la chaudière est de 93% [68], donc en situation de régime et sachant que les 3 chaudières ont 42 ans, l'estimation de 15% de perte semble raisonnable.

Les pertes dans le circuit de distribution sont estimées comme suit :

$$Pertes_{\text{circuit}} = Pertes_{\text{canalisation}} * L * temps [kWh] \quad (3.4)$$

où

- $Pertes_{\text{canalisations}} = 60 - 70 \frac{W}{m}$ [69, 70]
- L = longueur du bâtiment aller-retour = $73 * 2 = 146$ [m]
- $temps = 8760$ h ce qui correspond à une année

Les pertes dans le circuit sont donc estimées entre 76738 et 89527 kWh par an. Si on compare à une donnée d'année complète (année académique 2020-2021) dont la consommation totale a été de 471887 kWh pour un an, les pertes aux circuits représentent : 16 à 19 %.

Une fois l'énergie primaire convertie en énergie secondaire, il faut dissocier la consommation de cette énergie pour le chauffage et pour la consommation d'ECS. Bruxelles Environnement et Wallonie énergie SPW estiment une participation de l'ECS à la consommation d'un foyer résidentiel entre 10% et 20%. Pour vérifier cette hypothèse dans un contexte étudiant, il est possible d'utiliser les données fournies par LOGE : Une consommation de 30027 kWh a eu lieu entre le 1er juin et le 21 septembre 2023 ce qui représente $265.7 \frac{kWh}{jour}$. On considère cette consommation uniquement due à l'ECS, car les besoins de chauffage durant cette période sont presque nuls (25 Degrés-jours). Si on reporte cette valeur à la consommation de l'année 2020-2021 décrite plus haut, la part d'ECS correspond donc à 20.55% [71] et [72].

TABLE 3.5 – Les données de consommation de gaz de LOGE sont réduites de 15% pour la chaudière, de 15% pour les pertes au circuit de distribution et de 20% pour la consommation d'ECS.

	Intervalle de réduction de consommation	Justification	Valeur retenue
Pertes à la chaudière	[10 - 20] %	[68]	15%
Pertes dans le circuit de distribution	[15 - 20] %	eq. (3.4)	15%
Consommation d'ECS	[10 - 25] %	[71] et [72]	20%

Les données énergétiques fournies par LOGE sont donc réduites de 30% en raison des différentes pertes, et de cette énergie secondaire, 20% sont retirés pour les usages liés à l'ECS. Enfin, une régression linéaire est construite entre les différents points pour faire correspondre consommation du Bmi et Degrés-jours. Cette construction est présentée à la figure 3.11 .

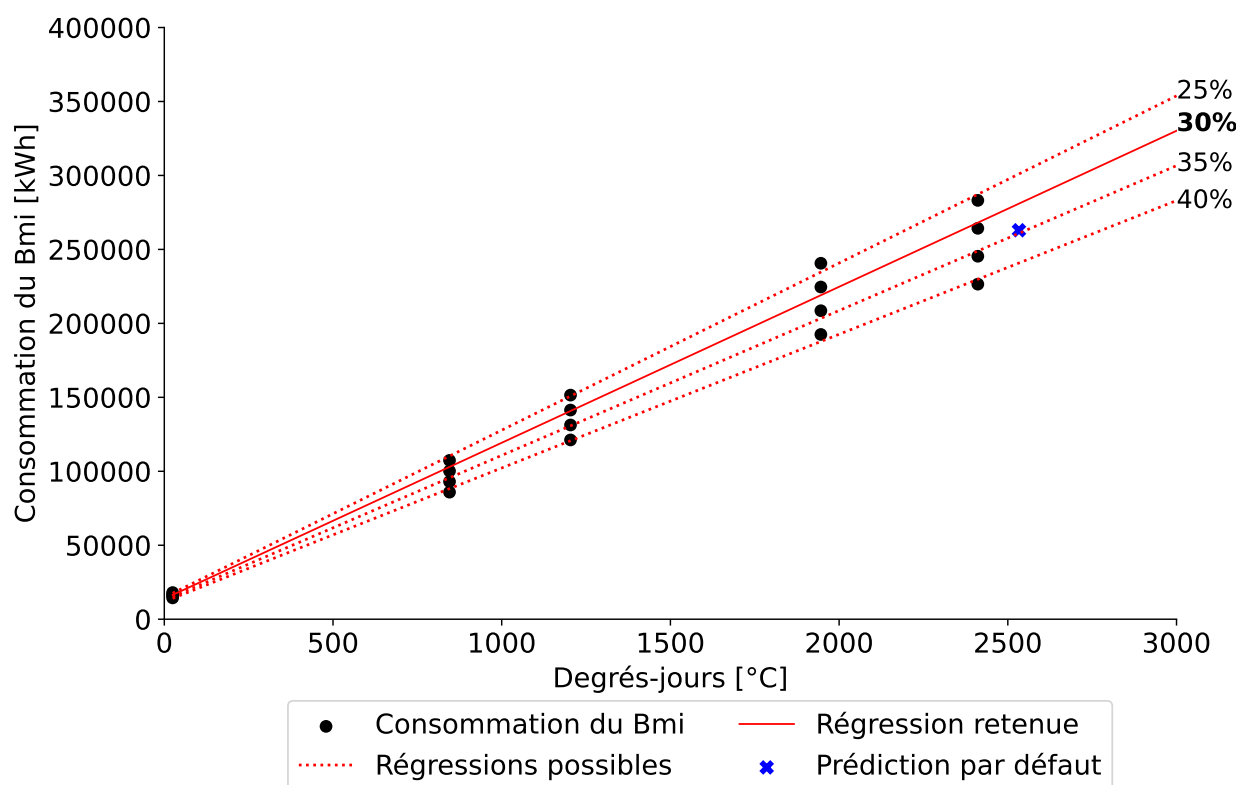


FIGURE 3.11 – Bien que la prédiction ne soit pas exactement alignée avec la réduction de 30%, la précision du modèle est satisfaisante au vu de la variabilité des paramètres qui le composent (voir sous-section 3.4.2) et conformément au choix des hypothèses présentées à la table 3.5.

Ce résultat semble décevant au premier abord, car la prédiction du modèle avec les hypothèses par défaut ne coïncide pas parfaitement avec les 30% de pertes à la chaudière et dans les canalisations de distribution d'eau de chauffage.

Cependant, ce niveau de précision est satisfaisant au vue de la grande variabilité des paramètres qui régissent le modèle informatique (voir sous-section 3.4.2), du choix des hypothèses synthétisée à la table 3.5 et à la discussion sur les pertes et la consommation d'ECS résumée à la table 3.5.

Chapitre 4

Résultats et discussions

Les résultats sont présentés de la manière suivante. Tout d'abord, une première sous-section "résultat" permet de contextualiser et d'expliquer comment on parvient à obtenir le résultat. Ensuite, une sous-section "discussion" interprète le résultat et le compare, quand c'est pertinent, à la littérature scientifique.

4.1 Résultats de l'expérience

Sauf indication contraire, les résultats de cette section sont issus de l'expérience menée au KE pendant 20 semaines par 8 étudiants. Ils proviennent directement de la collecte de données présentée à la section 3.3.

4.1.1 Températures des kots de l'UCLouvain

4.1.1.1 Résultat : Mesurer la température intérieure de différents kots pour s'assurer que la pratique du Slowheating est réalisable à l'UCLouvain.

Différents kots ont été suivis afin de déterminer lequel accueillerait l'expérience (voir sous-section 3.2.1). Pour ce faire, deux membres volontaires ont dû éteindre leur chauffage (fermer leur vanne thermostatique ou non thermostatique) pendant une semaine. Suite à cela, le kot avec la température moyenne la plus basse a été choisi. Les résultats du choix du kot peuvent être retrouvés à la table 3.3.

Avec l'accord des occupants, la consigne est restée la même sur toute la durée de l'hiver 2023-2024 afin de s'assurer que les kots de l'UCLouvain puissent permettre à leurs occupants de pratiquer le Slowheating. Pour rappel, les différents kots sont répartis dans différents endroits de la ville pour assurer une plus grande représentativité géographique.

Pour les kots Hocaille 1, Bruyères et Biéreau, ce sont deux chambres qui ont réalisé la campagne de mesures. Dans le kot Hocaille 3, une unique chambre "patrimoine" a été mesurée. Les chambres patrimoine sont des chambres vides servant à stocker le matériel pour le projet du kot. Pour ces kots, le pas de temps de la prise de mesures a été de 30 minutes afin d'économiser les données stockables sur les capteurs et de limiter les relevés de mesures.

Le kot des Blancs Chevaux est le KMI comme discuté à la sous-section 3.2.1. Pour ce kot, ce sont donc 9 chambres qui ont participé. Les mesures représentées ici n'intègrent cependant pas les 2 chambres qui ont eu des erreurs d'enregistrement de données sur des périodes prolongées de l'ordre de la demi-journée. Comme expliqué à la sous-section 3.3.1, le pas de temps est de 10 minutes pour ce kot et pour les relevés de températures extérieures.

Pour chaque kot, les températures de toutes les chambres sont moyennées entre elles afin d'obtenir la température moyenne du kot. Cette température moyenne du kot est ensuite moyennée par jour. Grâce à cette démarche, il est possible d'obtenir la température moyenne, la température maximale et la température minimale journalière moyenne du kot tout au long de l'expérience.

Connaître la température de la chambre ayant la plus petite moyenne au long de l'expérience est également intéressant pour déterminer si les étudiants sont capables ou non de pratiquer le Slowheating dans leur chambre. La même démarche a été appliquée à la température extérieure pour comprendre la réaction de certains profils de températures observés. Toutes ces constructions peuvent être retrouvées à la figure 4.1.

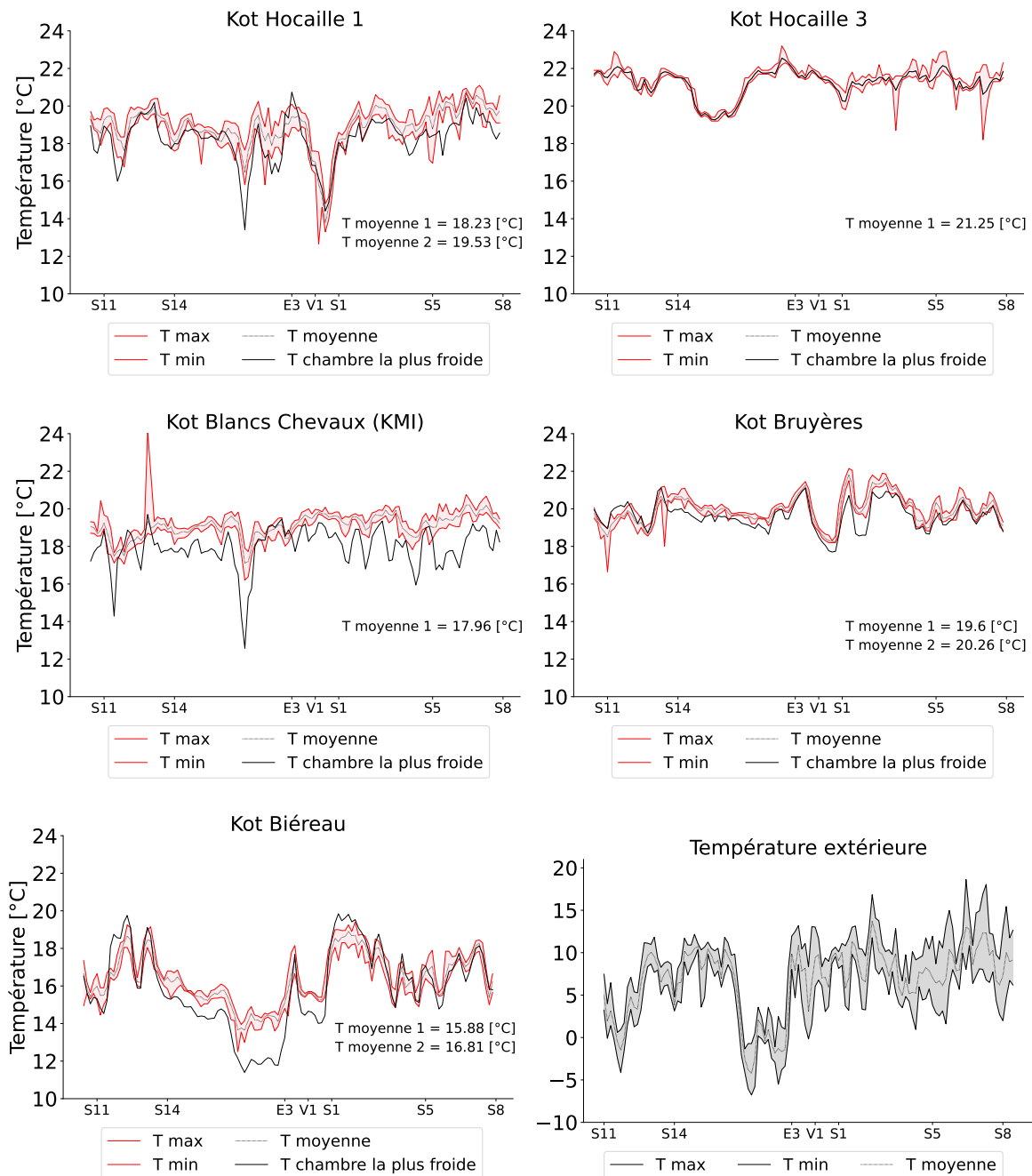


FIGURE 4.1 – Un seul kot de l’UCLouvain sur 5 observés pendant l’hiver 2023-2024 a été en capacité de pratiquer le Slowheating dans ses chambres.

4.1.1.2 Discussion : Remplacer les radiateurs défectueux et diminuer la courbe de chauffe pour permettre le Slowheating à l’UCLouvain.

Le 9 janvier 2024 (entre S14 et E3), la température de plusieurs kots (Hocaille 1, Blancs Chevaux et Biéreau) a diminué drastiquement suite à l’épisode de froid que Louvain-la-Neuve a connu à ce moment-là. Ce genre de diminution de température intérieure est attendue dans des kots pouvant pratiquer le Slowheating.

Suite à ce changement soudain et important, certains kots ont annoncé remettre leur chauffage (Hocaille 1 et Blancs Chevaux) pour pouvoir étudier correctement dans les chambres en cette période d’examens. Il est important de rappeler que les participants de ces résultats étaient volontaires et non équipés. Une fois la température extérieure à nouveau plus clémente, tous les étudiants ont déclaré avoir éteint à nouveau leur chauffage. Les étudiants du kot Biéreau n’étaient pas présents à ce moment-là. Ils n’ont donc rien changé.

Un deuxième épisode de froid a eu lieu fin janvier 2024 (V1) mais il a été de courte durée, son impact a pu être constaté sur la température intérieure du kot Hocaille 1, Biéreau et plus modérément sur le kot Bruyères.

Le pic de température constaté au kot des Blancs Chevaux doit être dû à une erreur de mesure (capteur exposé au soleil par exemple), car il n'est pas représentatif de la tendance ultérieure.

La moyenne des températures des chambres des kots Hocaille 1, Hocaille 3 et Bruyères est comprise entre 18 et 21 [°C] et la température moyenne de la chambre la plus froide des Blancs Chevaux est de 18 [°C]. Malgré des diminutions ponctuelles dues à des épisodes météo plus intenses, ces chambres n'ont pas été en capacité de pratiquer le Slowheating. Le kot Biéreau quant à lui a atteint des températures moyennes de 15.9 et 16.8 [°C] ce qui confirme la capacité de ses chambres à pratiquer le Slowheating.

L'incapacité des kots à réduire leur température intérieure doit être solutionnée si l'université veut déployer la pratique du Slowheating dans ses logements.

Comme discuté précédemment à la sous-section 3.2.1, la première volonté de ce travail était de faire l'expérience dans le kot des Blancs Chevaux, car celui-ci appartient directement à l'UCLouvain. Cela n'a pas été rendu possible à cause de l'impossibilité des occupants à réduire leur température intérieure. Ce constat a été partagé avec un ingénieur du Service Logistique et Logement Étudiant (LOGE) après une inspection des lieux. Il a été conclu que les pertes thermiques liées aux conduites d'eau de chauffage étaient responsables du phénomène.

Une action sur le choix de la courbe de chauffe des chaudières du bâtiment permettrait de diminuer les pertes thermiques des conduites et donc de diminuer la température intérieure minimale du kot [73, 74].

Cependant, il est important de rappeler que ce sont les températures des chambres d'un kot et non de la totalité du bâtiment qui ont été mesurées. Dès lors, il serait intéressant de mesurer, sur l'ensemble du bâtiment, si les pièces les plus proches des chaudières ne sont pas surchauffées et si les pièces à l'extrémité des chaudières le sont suffisamment.

En discutant avec les différents membres de chaque kot, un élément qui est revenu régulièrement a été qu'une chambre du kot était froide en permanence malgré un radiateur dont la vanne était au maximum. Cette déclaration est reprise pour 2 des 5 kots observés (Biéreau et Bruyères).

Dans le kot Bruyères, l'occupant de cette chambre a refusé de participer à la prise de mesures, car sa chambre était déjà trop froide pour fermer son radiateur. Dans le kot Biéreau, le radiateur d'une chambre étant défaillant et dans l'attente d'une intervention, l'occupant a bien voulu participer à la campagne de mesures.

Cette affirmation s'est confirmée au kot Hocaille 1, car une des deux chambres a dû réactiver son chauffage lors de l'épisode de froid du 9 janvier alors que l'autre chambre avec son radiateur toujours fermé ne l'a pas vécu.

Dès lors, il est possible que certaines chambres ayant un radiateur défaillant ou sous-dimensionné, n'arrivent pas à choisir une température intérieure suffisamment haute pour le confort de l'étudiant. Il semble donc important de s'assurer que tous les radiateurs d'un bâtiment soient fonctionnels avant de modifier la courbe de chauffe.

En résumé, un seul kot de l'UCLouvain sur 5 observés pendant l'hiver 2023-2024 a été en capacité de pratiquer le Slowheating dans ses chambres. Cela est sans doute dû aux pertes thermiques du circuit de distribution d'eau de chauffage. Ce phénomène pourrait être limité en choisissant une courbe de chauffe permettant une température intérieure plus basse. Le choix de cette nouvelle courbe doit être fait afin d'éviter une surchauffe des chambres proches de la chaudière (à cause des pertes thermiques) et d'éviter que les chambres les plus éloignées ne puissent pas bénéficier d'eau de chauffage suffisamment élevée. Cependant, une action unique sur la courbe de chauffe pourrait empêcher certaines chambres de se chauffer et donc d'imposer une température à leurs occupants, ce qui est contraire à la pratique du Slowheating. Dès lors, il est nécessaire de s'assurer dans un premier temps que chaque étudiant ait accès à un radiateur suffisamment puissant pour ses besoins.

4.1.2 Présence des étudiants du KE

4.1.2.1 Résultat : Les probabilités de présence hebdomadaire permettent de vérifier la pertinence du découpage temporel.

Comme discuté dans la sous-section 3.2.2, l'hypothèse d'une présence variable en fonction du moment de l'année académique doit être discutée. Grâce aux différentes EDP, il est possible de construire les probabilités de présence hebdomadaire au KE pour tous les étudiants.

La construction de la probabilité de présence hebdomadaire se fait de la façon suivante : pendant la semaine (du lundi au dimanche), la présence dans chaque pièce est sommée (peu importe de l'endroit où se trouve l'étudiant) et puis divisée par le nombre total de jours d'EDP (20) ainsi que le nombre d'étudiants (7). Cette construction pour chaque EDP peut être retrouvée à la figure 4.2.

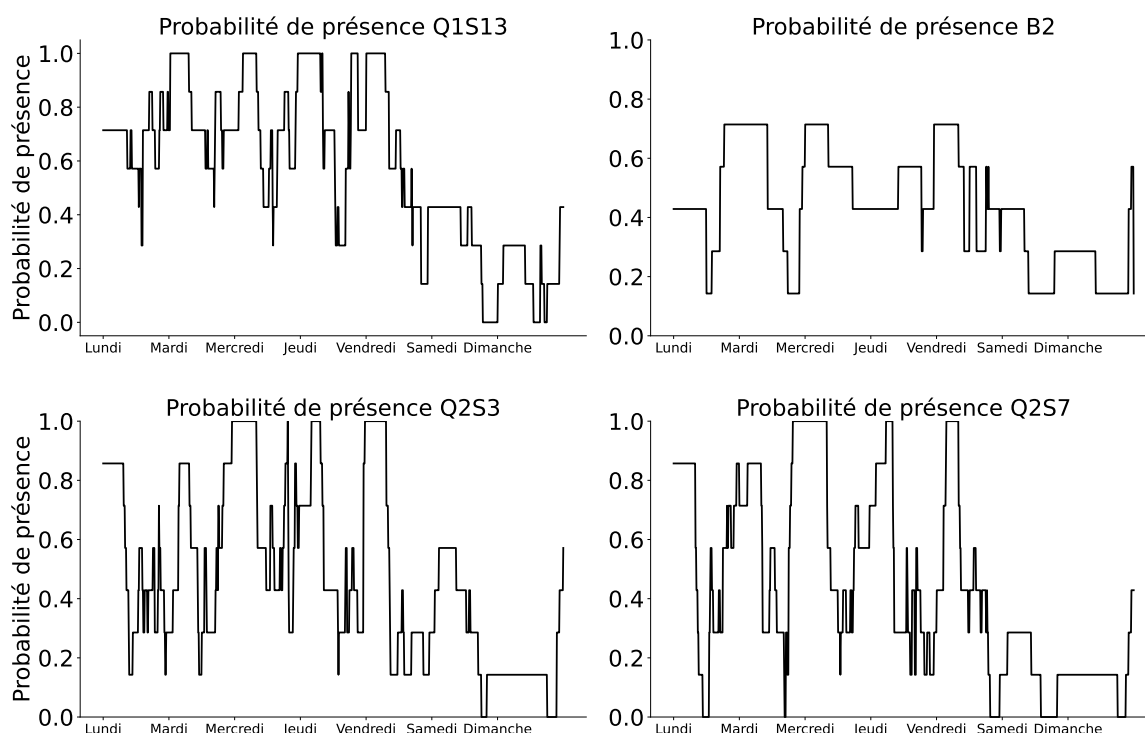


FIGURE 4.2 – Les 4 probabilités de présence hebdomadaire construites grâce aux EDP permettent d'affirmer que la présence des étudiants dans leur kot varie en fonction de la période de l'année académique. Les périodes de début (Q2S3) et de milieu du quadrimestre (Q2S7) présentent des similitudes.

4.1.2.2 Discussion : Les phases 2 et 3 possèdent des similitudes mais sont significativement différentes des phases 1 et Blocus-Examen

Avec la première EDP (Q1S13), on constate que tous les étudiants sont presque systématiquement présents la nuit au kot et qu'il y a toujours une présence significative des membres durant la journée. À l'inverse, durant la période de blocus-examen (B2), le kot n'est jamais au complet, ce qui s'explique par le fait que certains étudiants préfèrent rentrer dans leur famille pour cette période qui se caractérise également par une présence plus stable de la part des étudiants au cours de la journée et du weekend.

Les EDP du Q2S3 et Q2S7 sont relativement semblables avec des nuits où moins d'étudiants sont présents et avec une grande variabilité d'occupation du KE au cours du temps. Cette variabilité s'explique par les cours ou les activités extra académiques. On y constate aussi que durant la journée, pendant les jours ouvrables de la semaine (du lundi au vendredi), le kot peut se retrouver vide par moment bien que cela ne soit pas systématique.

Pour toutes les EDP à l'exception du blocus, la présence des étudiants diminue significativement le weekend.

4.1.2.3 Résultat : Comprendre le comportement hebdomadaire et journalier des étudiants du KE.

Comme mentionné à la section précédente, la présence des occupants est fonction de la période académique. Cependant, certains logiciels de simulation thermique des bâtiments ne permettent d'encoder qu'une seule probabilité de présence. Dès lors, exprimer une unique probabilité de présence est nécessaire mais doit se faire en intégrant les différentes périodes académiques. Regrouper toutes les EDP permet donc de condenser l'information tout en gardant les subtilités qui les caractérisent.

Grâce à l'EDP du Q2S3 et de celle du Q2S7, il est possible de constater que les deux périodes étaient similaires en terme de présence étudiante. Cependant, les deux périodes sont quand même utilisées pour déterminer la probabilité de présence hebdomadaire et journalière, car une EDP représente un des 4 mois qui constituent un quadrimestre. Ne pas l'utiliser diminue le poids de ces périodes dans la construction d'une unique probabilité. De plus, il est bon de rappeler qu'une EDP ne dure qu'une semaine alors qu'elle représente un mois, l'utilisation d'un plus grand nombre de données (tout en respectant les variations qui surviennent lors des différentes phases académiques) permet de diminuer les particularités et imprévus non représentatifs qui peuvent survenir au cours d'une semaine.

C'est dans cet esprit qu'a été construite la probabilité de présence hebdomadaire et journalière liée aux EDP. La technique de construction est la même que celle décrite à la section précédente, à savoir sommer la présence dans le kot et diviser par le nombre d'étudiants et par le nombre de jours. Pour la probabilité de présence journalière, seuls les jours de la semaine ouvrable sont pris en compte, à savoir du lundi au vendredi. Ces constructions peuvent être retrouvées à la figure 4.3 ainsi qu'à la figure 4.4.

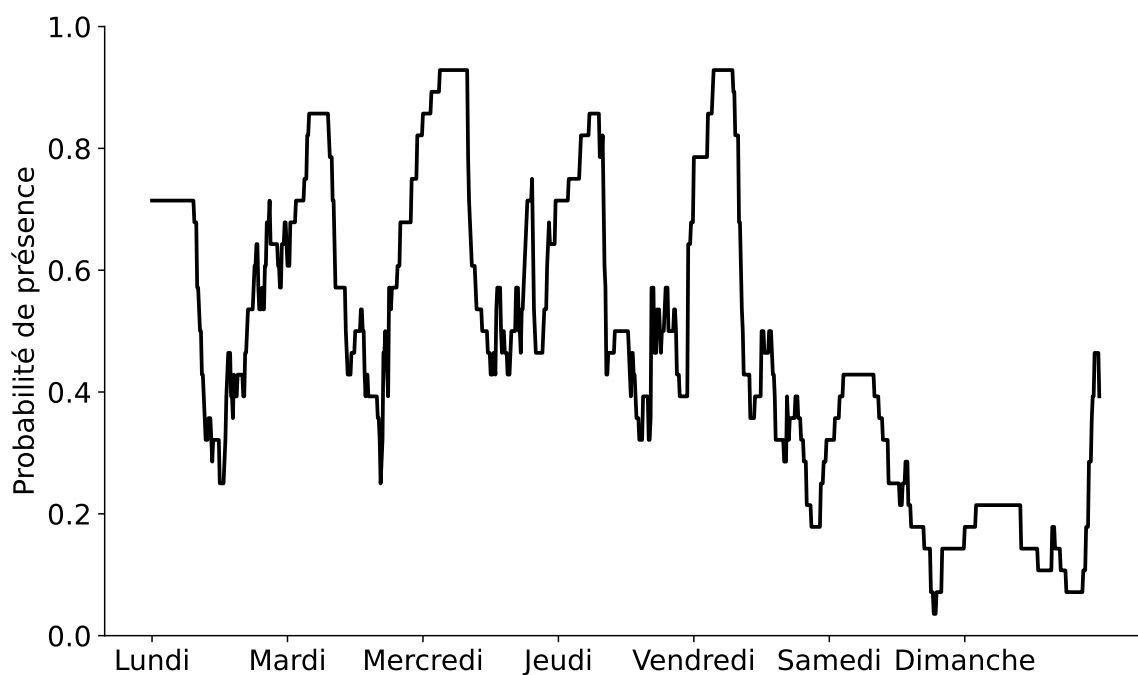


FIGURE 4.3 – La probabilité qu'il y ait au moins une personne au kot durant la semaine est élevée. À l'inverse, durant le weekend, la majorité des étudiants est absente.

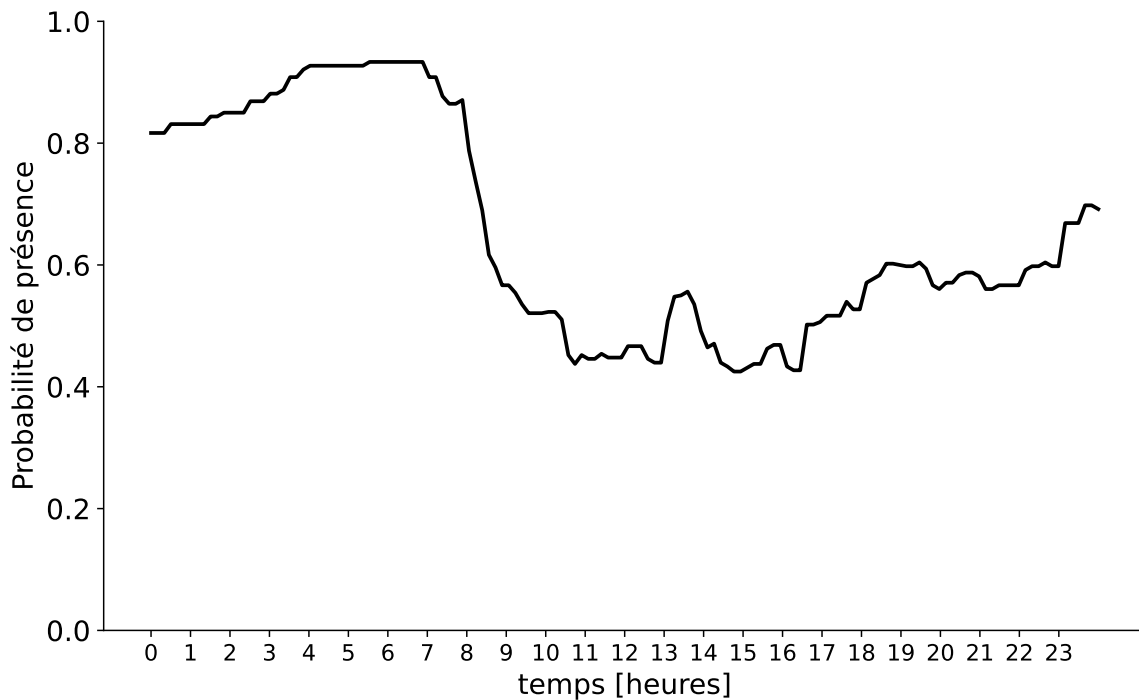


FIGURE 4.4 – La présence journalière des étudiants suivis à l’UCLouvain est différente de [58] (voir la figure 3.2). Dès lors, la présence d’étudiants dans le logement peut être différente d’une université à l’autre.

4.1.2.4 Discussion : La probabilité de présence élevée des étudiants empêche les économies liées à la programmation de la chaudière et au chauffage intermittent durant la semaine.

Avec la probabilité finale de présence hebdomadaire, on constate que les étudiants ne rentrent pas systématiquement le dimanche soir, mais parfois aussi le lundi en journée. Après discussion avec les différents membres de l’expérience, la raison de ce comportement s’explique principalement par le fait que les étudiants concernés n’ont pas cours le lundi matin et préfèrent donc passer une nuit de plus dans leur famille.

Comme indiqué précédemment, une nette diminution de présence pour le weekend et un retour le dimanche soir sont observés mais ne sont pas systématiques. Ce résultat est différent en comparaison avec Nikdel et al. [58] et leur figure 3.4. Dans leur étude, la probabilité de présence des étudiants américains durant le weekend est similaire à celle de la semaine. La différence peut s’expliquer par la durée des trajets car la Belgique et plus précisément la Wallonie sont de plus petits territoires par rapport à l’Etat de New York dont émanent ces étudiants. En plus de la distance, les habitudes culturelles, les infrastructures et le coût de déplacement sont également des paramètres qui peuvent justifier cette différence.

D’un point de vue journalier, on constate une légère augmentation de la présence entre 13h00 et 14h00 qui correspond à la pause de midi de l’université durant laquelle certains étudiants rentrent pour manger au kot. Après 18h00, les cours sont généralement terminés et la probabilité de présence augmente légèrement au kot mais pas de façon significative. Durant les soirées, la présence des occupants n’est pas significativement élevée. Le retour des activités extra académiques peut être tardif. On peut considérer que tous les étudiants sont de retour au kot entre 3h00 et 4h00.

En comparaison avec Nikdel et al. [58] et leur figure 3.2, la présence des étudiants est relativement différente. On peut noter une présence en soirée et en après-midi moins importante au KE ainsi qu’une augmentation entre 13h00 et 14h00. De ce fait, la probabilité de présence des étudiants peut être considérée comme variable d’une université à une autre en fonction de la culture du pays, de l’architecture du campus, des habitudes des étudiants, etc.

Enfin, il est probable qu’une personne soit au kot durant la semaine, ce qui empêche toute économie d’énergie liée à la programmation de la chaudière et au chauffage intermittent [74].

4.1.2.5 Résultat : Expliciter la présence des individus est nécessaire pour la simulation thermique.

La construction des présences des individus est développée à la sous-section 3.3.1. Pour résumer, les étudiants ont déclaré leur présence via des EDP qui ont été transformées en probabilité de présence et suite à un critère de présence (probabilité de présence supérieure à 0.5), les présences des étudiants sont construites et présentées à la figure 4.5.

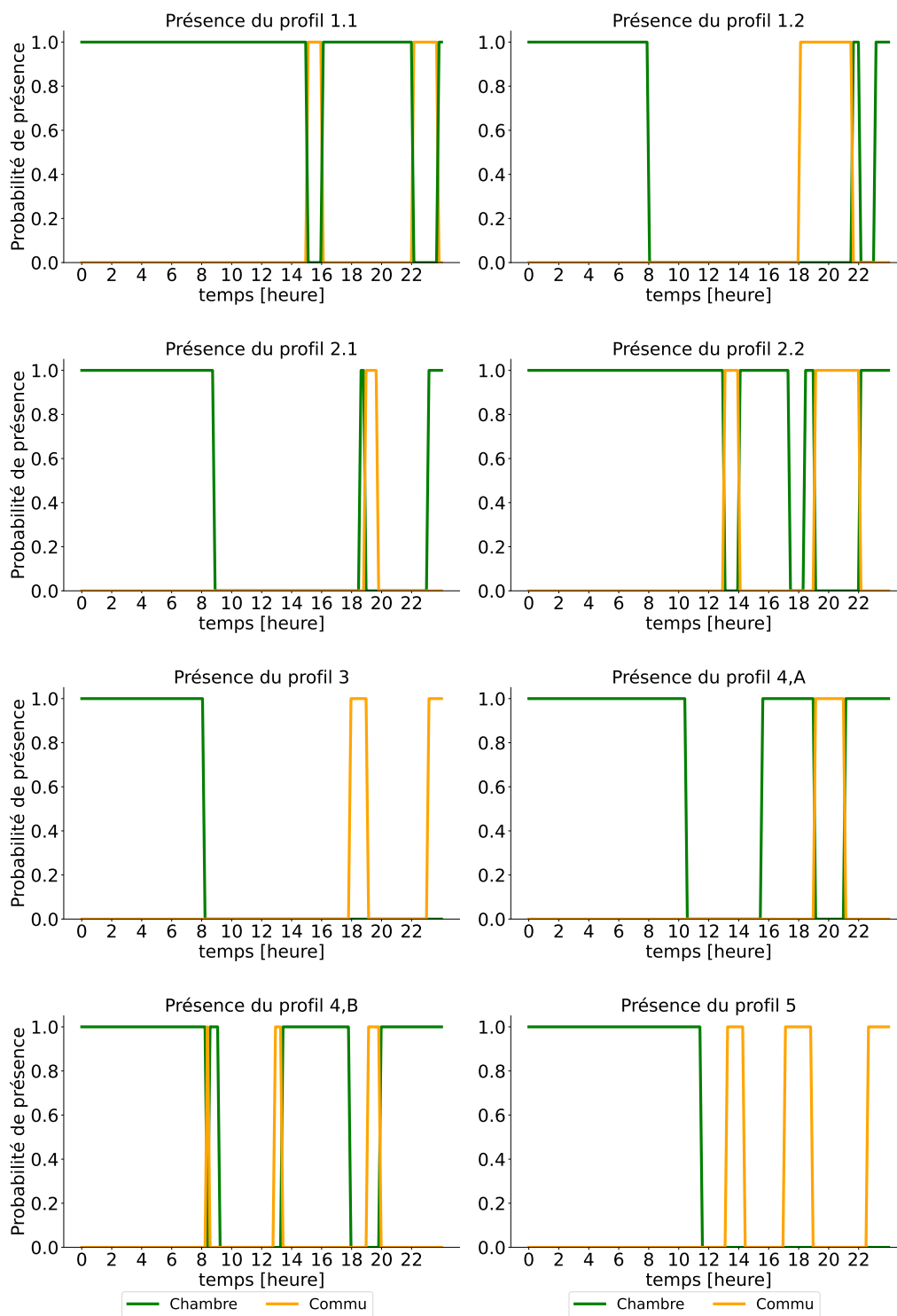


FIGURE 4.5 – La présence des étudiants varie grandement d'un individu à l'autre.

4.1.2.6 Discussion : La présence d'un individu peut être liée à son année d'étude.

La figure 4.5 met en évidence de grandes disparités de présence entre étudiants : Certains sont présents au kot en quasi permanence (profil 1.1, 2.2, 4.A, 4.B), d'autres relativement présents (profil 1.2 et 2.1 et 5) et d'autres encore très souvent absents (profil 3). Ce constat est également observé à l'Université de Clarkson présenté à la figure 3.3 par [57].

Cette répartition peut être attribuée à l'année d'étude de l'individu. Les profils étant très présents au kot sont tous en master 2, ils n'ont donc plus beaucoup de cours auxquels ils doivent se rendre. Les autres profils sont des étudiants en bachelier, la plupart ayant un stage sur l'un ou l'autre des quadrimestres.

La présence au cours n'étant pas toujours obligatoire, certains étudiants peuvent accentuer leur présence dans le kot, mais cela n'a pas été fortement observé durant l'expérience.

4.1.3 Température du KE

4.1.3.1 Résultat : La température, quantité physique principale pour quantifier la sobriété.

L'expérience débutée le 13 novembre 2023 (S9) a réellement commencé le 27 novembre (fin de la phase de test) et s'est terminée le 31 mars 2024 (S8) comme indiqué dans la sous-section 3.2.2 à la figure 3.1. Durant ces 20 semaines, la température du KE a été mesurée dans toutes les pièces. Les moyennes des chambres et du commu ont été reprises phase par phase à la table 4.1.

TABLE 4.1 – La température choisie par les étudiants dans l'ensemble des chambres et du commu pendant toute la durée de l'expérience est de 15.51 [°C].

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Expérience avec phases de test	Expérience sans phase de test
Température moyenne intérieure totale	16.64 [°C]	14.96 [°C]	14.49 [°C]	15.68 [°C]	16.69 [°C]	15.51 [°C]	15.40 [°C]

Afin de répondre à la question de recherche, il faut quantifier la température choisie par les étudiants dans leur kot. Pour comparer des pratiques de Slowheating entre elles, un recours à la température est nécessaire à l'instar de la consommation qui elle, dépend de la performance énergétique du bâtiment.

Grâce aux capteurs de température et d'humidité relative, la température de chaque chambre est connue tout au long de l'expérience avec un pas de temps de 10 minutes. Cependant, représenter la température avec une telle précision est peu lisible pour le lecteur, c'est pourquoi une représentation moyenne hebdomadaire et journalière semble plus pertinente.

Dès lors, les températures de toutes les chambres et du commu sont moyennées entre elles et ensuite moyennées par semaine et par jour. Ce qui permet d'obtenir 1) la température hebdomadaire (voir figure 4.6) et 2), la température moyenne, la température maximale et la température minimale journalière moyenne des chambres, du commu et de l'extérieur tout au long de l'expérience (voir figure 4.7).

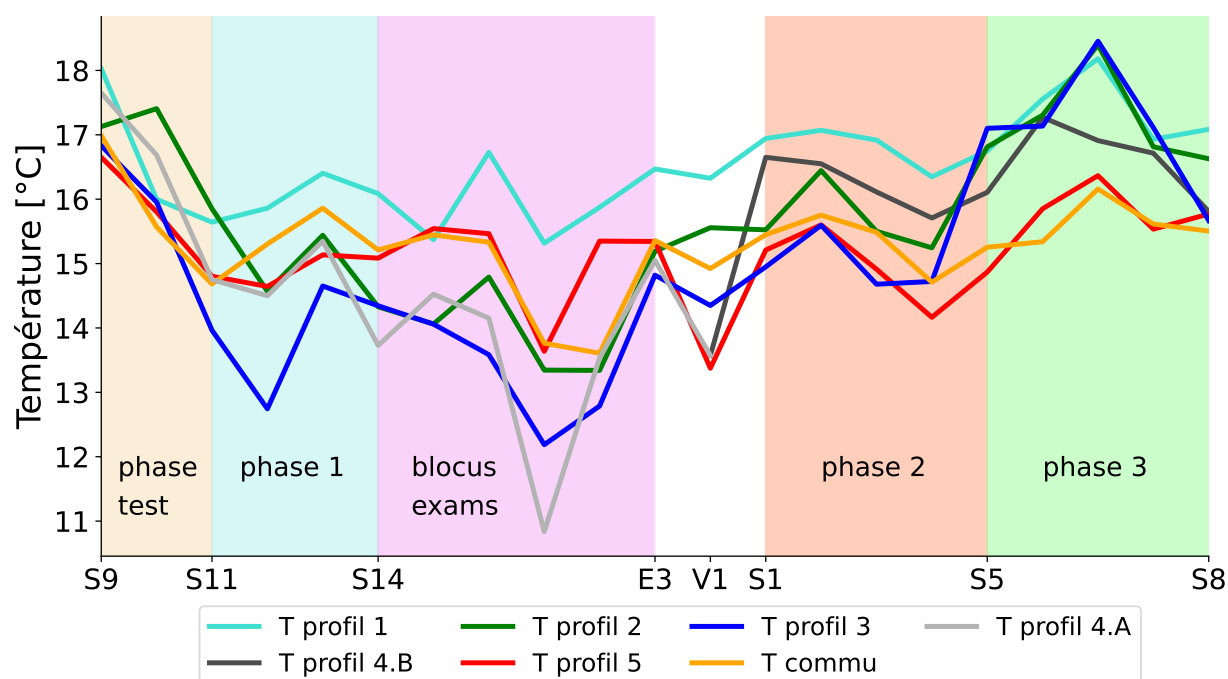


FIGURE 4.6 – Le choix de température des chambres par les occupants n'est pas uniforme.

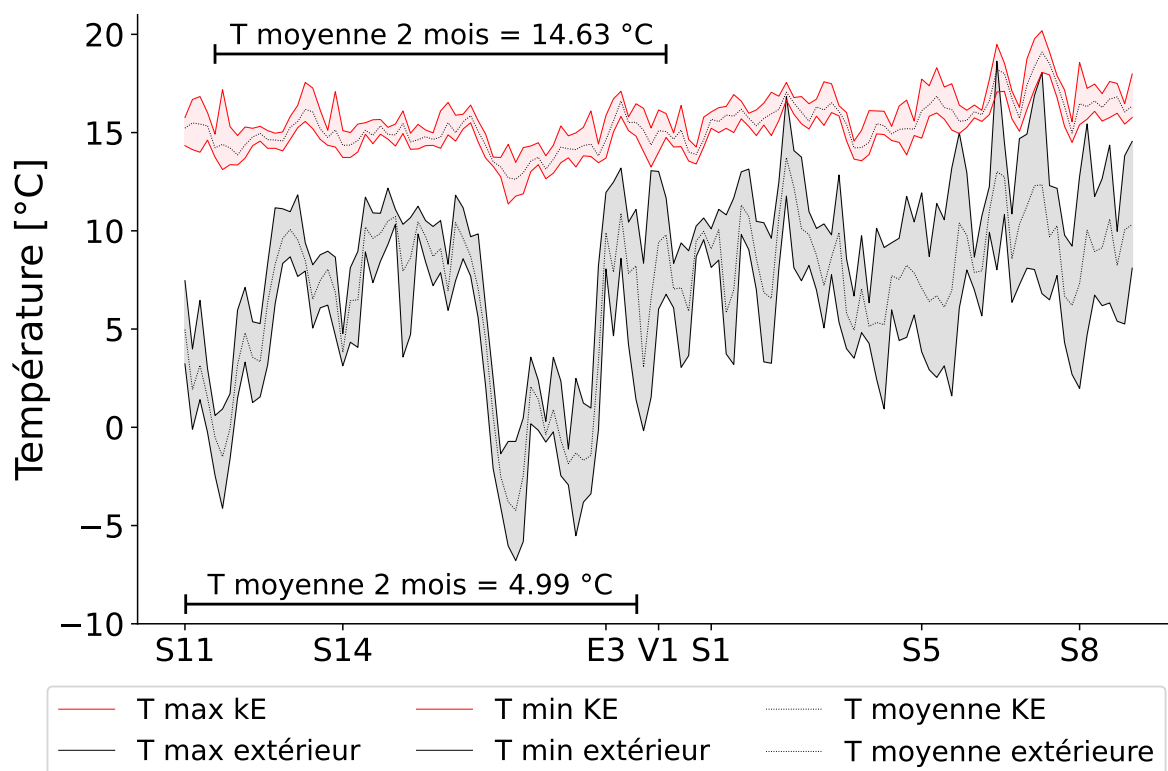


FIGURE 4.7 – Les deux mois les plus froids pour l'ensemble des moyennes du kot se sont déroulés durant la phase 1 et la phase de blocus-examen. La moyenne la plus basse correspondante équivaut à 14.63 [°C].

4.1.3.2 Discussion : La phase 3 est peu représentative au vu des températures extérieures.

La phase 1 et la phase de blocus-examen ont été les plus stables durant lesquelles les températures ont été les plus basses. Car, c'est à ce moment de l'hiver que les températures extérieures ont atteint des valeurs minimales (-6.78 [°C]) au plus froid. Durant la phase de blocus-examen, certains étudiants sont rentrés dans leur famille (profil 2.1 et 4.A) pour étudier. De ce fait, 5 des 7 membres du KE sont restés tout au long de cette période.

La phase 2 a été marquée par l'arrivée du profil 4.B qui n'a pas eu de réelles phases de test et qui n'était pas habitué à vivre dans des températures intérieures comme celles du KE. Cependant, il a bien voulu rejoindre l'expérience et pour l'aider dans son intégration, l'ensemble des participants a décidé d'augmenter la température de consigne du commu et la durée de chauffe. Malgré ces ajustements, la différence n'a pas été très importante. Ces ajustements sont décrits plus en détail à la sous-section 4.1.3.3.

Durant la phase 3, les températures extérieures ainsi que l'ensoleillement ont été plus importants que lors des semaines précédentes. De ce fait, le KE a vu ses températures intérieures remonter. Cette phase est moins pertinente du point de vue des températures intérieures à cause de cette situation.

La moyenne de température intérieure la plus basse sur 2 mois (14.63 [°C]) choisie par les étudiants du KE correspond, à 4 jours près, à la moyenne de température extérieure la plus basse sur 2 mois (4.99 [°C]).

4.1.3.3 Résultat : Impact d'un nouvel arrivant dans un logement pratiquant le Slowheating.

Durant l'expérience, l'individu 4.A est parti en Erasmus à la fin de la semaine E3 et a été remplacé par l'individu 4.B dans sa chambre. Cette nouvelle personne a accepté de rejoindre l'expérience en cours au kot même si celle-ci n'avait jamais pratiqué le Slowheating et était habituée à des températures classiques dans son foyer ($\sim 20[^\circ\text{C}]$).

Ce genre de changement de propriétaire de chambres entre le premier quadrimestre et le second n'est pas rare à l'UCLouvain, il est par exemple arrivé également dans le kot Bruyères décrit à la sous-section 3.2.1.

Le changement de propriétaire de la chambre 4 du KE permet donc d'avoir un aperçu de l'intégration d'un individu au comportement de chauffage classique dans un kot en train de pratiquer le Slowheating.

Avec l'expression de la moyenne journalière et d'un zoom sur la période du Q2 (phase 2 et phase 3), il est possible de comparer le choix de température de l'individu 4.B avec les autres membres du KE comme présenté à la figure 4.8.

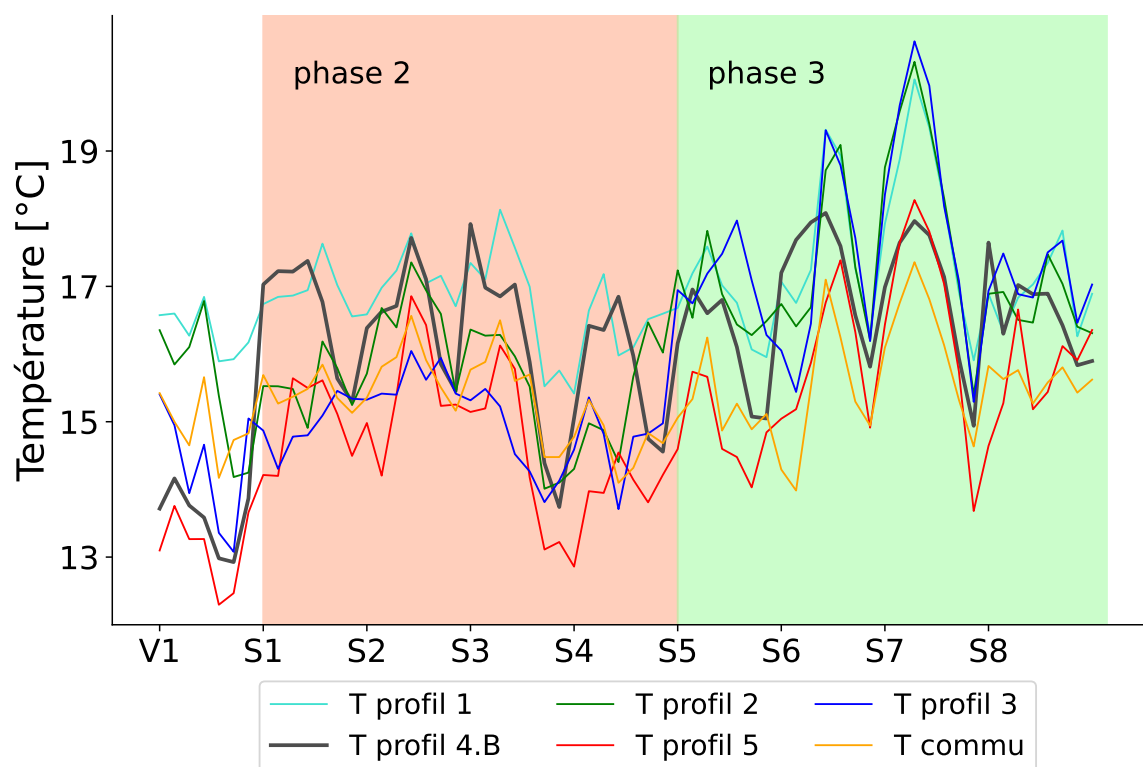


FIGURE 4.8 – L'arrivée d'un nouvel individu (4.B —) dans un kot pratiquant le Slowheating a un impact modéré (augmentation d'1 $[^\circ\text{C}]$) sur le choix de température du kot.

4.1.3.4 Discussion : L'intégration d'un nouvel individu dans l'expérience a un impact limité sur la pratique de Slowheating des autres occupants

L'arrivée de l'individu 4.B (—) a eu lieu le lundi 5 février 2024 (S1 sur l'axe des abscisses). Les données précédentes ne sont donc pas pertinentes à analyser, car elles correspondent à une pièce sans occupant.

Pour faciliter son intégration à l'expérience en cours, les membres du kot ont décidé d'allonger les périodes de chauffe du commu pour que la chambre 4 puisse bénéficier plus longtemps de chauffage, ce qui a eu un léger impact sur la température moyenne du commu.

Durant la phase 2, cette personne a atteint de manière régulière des températures journalières de l'ordre de 16 - 17 $[^\circ\text{C}]$ et durant les weekends, des températures équivalentes à 15 $[^\circ\text{C}]$. Ce choix est très similaire aux choix réalisés par les autres étudiants lors de la phase de test (Q1S9, voir sous-section 3.2.2).

Il est possible de constater que durant la S4 et la S5, cette personne a réalisé un choix de température inférieure à ceux faits lors des semaines précédentes, ce qui montre la capacité d'adaptation de la personne.

Pour la suite de la phase 3 (S6, S7 et S8), les températures extérieures étant très clémentes (voir figure 4.7), beaucoup de chambres ont vu leur température augmenter significativement. Ce n'est pas le cas de la chambre 4 qui, exposée au nord, a moins bénéficié des gains d'irradiance solaire à l'instar des chambres 1, 2 et 3.

L'intégration de l'individu 4.B s'est donc faite sans trop impacter l'expérience. Après 3 semaines d'adaptation, cette personne a choisi de diminuer davantage la température de sa chambre pour atteindre des températures similaires aux autres membres du kot après 5 semaines.

4.1.4 Consommation énergétique du KE

4.1.4.1 Résultat : Quantifier la réduction de consommation du KE liée au Slowheating est difficile à cause de la consommation de bois.

Comme discuté à la sous-section 3.2.1, le KE possède un poêle à bois. Celui-ci a été utilisé pendant toute l'expérience par les étudiants. Pour quantifier l'impact qu'il a représenté sur la consommation de chauffage du kot, il a été demandé aux étudiants de noter la masse de bois à brûler avant chaque feu. Ces données servent également à discuter le mode de transfert thermique du poêle pour savoir s'il transmet son énergie de manière plutôt convective ou plutôt radiative. Pour répondre à ces deux objectifs, la masse de bois brûlé et la température du commu moyennée de manière journalière sont représentées au cours de l'expérience à la figure 4.9.

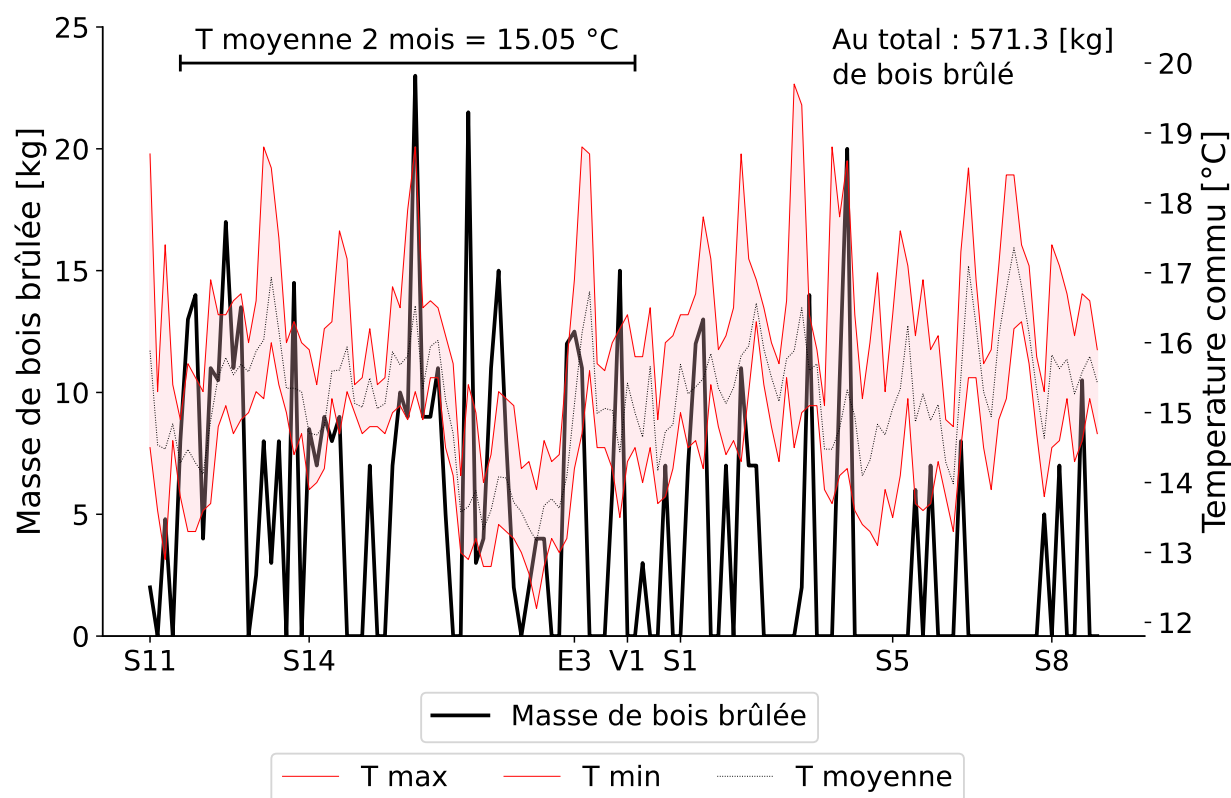


FIGURE 4.9 – La masse de bois brûlé tout au long de l'expérience s'élève à 571.3 [kg].

4.1.4.2 Discussion : Le poêle à bois n'a pas été un frein au bon déroulement de l'expérience.

La figure 4.9 permet de suivre le comportement d'utilisation de la biomasse (fréquence et intensité) par les étudiants lors de l'expérience. Pour donner un ordre de grandeur, une bûche de bois a une masse comprise en 1 et 4 kg. Les phases 1 et 2 sont marquées par de nombreux feux de faible ou de moyenne intensité (inférieur à 10-15 kg de bois) alors que la phase Blocus-Examen est caractérisée par des feux plus occasionnels, mais plus intenses (supérieurs à 20 kg de bois). Ces feux à plus grande intensité s'expliquent notamment par les fêtes qui ont eu lieu au kot comme Noël et nouvel-an. Au total, la masse de bois brûlée tout au long de l'expérience s'élève à 571.3 [kg].

Établir le mode principal de transfert d'énergie thermique du poêle n'est pas clair au vu de la figure 4.9. La présence d'un feu n'implique pas de manière systématique de maxima de température élevée sur une journée. Le constat partagé par les étudiants est que le feu est très utile pour réchauffer le corps en se rapprochant du poêle (mode conductif au lancement du feu et radiatif en situation de régime) et qu'il est utile pour réchauffer le commu et les chambres.

Malgré la présence d'un poêle qui implique un contrôle de la température intérieure plus difficile, la température moyenne du commu sur les deux mois les plus froids est de 15.05 [°C]. Ce résultat est très proche de la valeur atteinte par les premières campagnes de Slowheating qui mesuraient la température moyenne intérieure de la salle de vie à 15.16 [°C] pendant les deux mois extérieurs les plus froids [10].

4.1.4.3 Résultat : Quantification de l'énergie primaire par source dans le KE.

Dans le but de quantifier l'impact de la pratique du Slowheating sur la consommation d'énergie primaire, les factures de consommation de gaz sont d'une grande aide. Elles fournissent la quantité de m^3 consommée sur une période précise.

Afin d'éviter de devoir poser de nombreuses hypothèses (rendement de la chaudière, rendement du poêle à bois, etc), la comparaison entre l'expérience Slowheat et les comportements énergétiques des années précédentes est faite sur l'énergie primaire consommée dans le KE. La consommation d'ECS est quant à elle supposée constante au cours des années et équivaut à 20% de la consommation de gaz fossile (table 3.5). Cette proportion est soustraite au total de m^3 de gaz consommé.

Les factures présentent des différences importantes selon les années. Après discussion avec le propriétaire et les locataires actuels, il apparaît que ces variations importantes sont dues à des comportements de chauffage différents entre groupes de locataires. Une distinction est donc faite entre les anciens locataires (2016-2020) et les nouveaux locataires (2021-2024).

Le propriétaire ne dispose pas de données sur la consommation de bois lors des années précédentes, car soit les occupants n'utilisaient pas de biomasse pour se chauffer (les anciens locataires ne disposaient pas d'un poêle à bois), soit ils la récupéraient par eux-mêmes sans disposer de données précises sur sa quantité, son taux d'humidité, son essence, etc. (nouveaux locataires).

Suite à leurs déclarations, une quantité de bois supposée de l'ordre de 10% de la consommation de gaz est retenue pour l'année 2021-2022. Pour l'année suivante, les locataires ont déclaré avoir des comportements énergétiques similaires, mais avec un recours au bois plus important pour réduire les coûts monétaires et les émissions de CO_2 de leur lieu de vie. La consommation de bois supposée est donc équivalente à la consommation totale d'énergie primaire de l'année précédente.

Les données fournies sont exprimées en kWh en multipliant la masse de bois ou le volume de gaz par leur pouvoir calorifique inférieur (PCI). La chaudière à gaz du KE n'étant pas à condensation, c'est bien le PCI dont nous avons besoin [75].

Le PCI du gaz fossile est choisi comme étant égal à $10 \frac{kWh}{m^3}$ qui est une valeur communément acceptée (même si de légères variations peuvent exister en fonction de la composition précise du mélange gazeux) [75, 76, 77]. À l'inverse, le pouvoir calorifique du bois (PCI) peut fortement varier en fonction de l'essence de bois brûlé et de son taux d'humidité au moment de la combustion [78]. Il est compris entre 2.1 et $4.3 \frac{kWh}{kg}$ [79, 80] et LMECA2325. Face à cette grande variabilité, les deux extrêmes sont représentés et la valeur moyenne sert de référence.

Pour avoir une comparaison pertinente, l'énergie déterminée grâce aux factures est divisée par le nombre de Degrés-jours équivalent de l'année concernée comme présenté à la sous-section 3.4.3. De cette manière, on compare des consommations qui ne sont pas biaisées par des besoins plus ou moins importants en fonction des événements météorologiques des années concernées [67]. La consommation réelle de gaz fossile du KE est notée par groupement de locataires pour garder un ordre de grandeur de la consommation de ce kot. Ces données sont présentées à la figure 4.10.

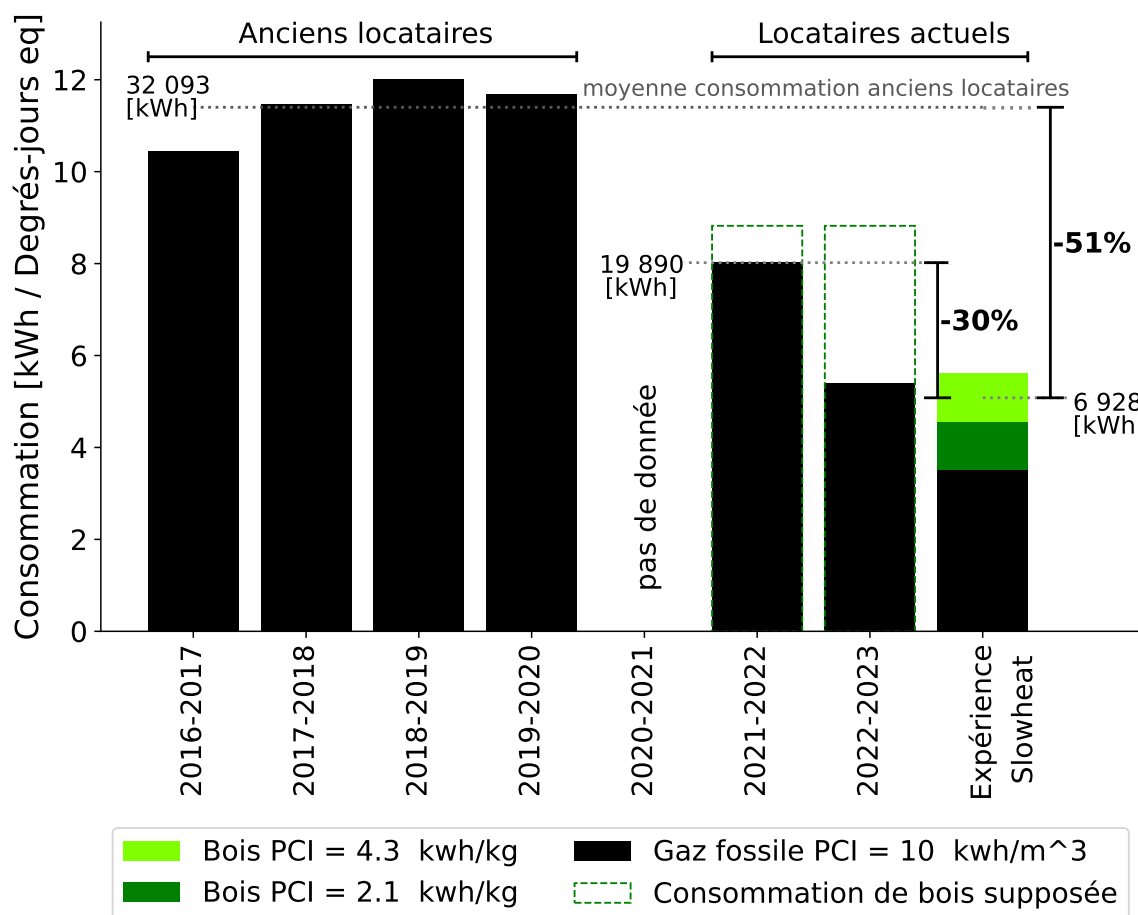


FIGURE 4.10 – Malgré les imprécisions liées à l’utilisation du bois comme énergie de chauffage, la pratique du Slowheating a un impact minimal de 30% à 51% de réduction de consommation d’énergie de chauffage dans le KE.

4.1.4.4 Discussion : L’expérience d’une pratique de Slowheating en kot vient confirmer la déclaration de l’ADEME sur les comportements de sobriété dans le bâtiment.

Le kot étant loué depuis plusieurs années, les successions de locataires reflètent des comportements énergétiques différents. Les changements de tendances de consommation de la figure 4.10 sont donc attribués à des variations de comportements, car le kot n’a bénéficié d’aucune amélioration de son efficacité énergétique sur la période présentée (2016-2024). Cela met à nouveau en évidence l’impact des pratiques de chauffage sur la consommation énergétique où pour deux groupes de locataires différents, le premier a utilisé en moyenne 3209 m^3 et l’autre 1989 m^3 de gaz par an.

La consommation de bois des années 2021-2022 et 2022-2023 étant supposée, la référence pour quantifier la réduction d’énergie primaire liée à l’expérience Slowheat est la quantité de gaz de l’année 2021-2022. En considérant une participation de 20% de consommation de gaz fossile dans l’ECS et avec comme référence la consommation de gaz fossile de l’année 2021-2022 et pour un PCI de bois moyen la réduction de consommation d’énergie liée aux usages de chauffage pour le KE grâce à la pratique du Slowheating s’élève à 30%. Cette réduction est d’autant plus importante si la référence est définie selon les anciens locataires pour atteindre la valeur de 51% d’économie de chauffage.

Durant l’entièreté de l’expérience, c’est 510 m^3 de gaz fossile et 571.3 [kg] de bois pour un total de 6928 kWh qui ont été consommés, ce qui représente une réduction de 59% d’énergie par rapport à la consommation d’un Belge moyen au gaz [81].

Après discussion avec les locataires actuels, ceux-ci estiment que l’ancien groupe vivait à des températures de l’ordre de $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Les locataires actuels ont choisi une température de $18 \text{ [}^\circ\text{C]}$ et réalisaient les appoints avec des feux de bois pour diminuer les coûts monétaires et les émissions de CO_2 . Ainsi la pratique du Slowheating dans le KE avec un choix de température intérieure de $15.51 \text{ [}^\circ\text{C]}$ tout au long de l’expérience, (voir table 4.1) vient confirmer dans un cadre pratique la déclaration de l’ADEME [42, 43, 44].

4.1.4.5 Résultat : La pratique du Slowheating ne transfère pas une consommation de chauffage thermique vers une consommation de chauffage électrique.

Afin de garder un niveau de confort équivalent avec des températures intérieures réduites, des solutions de chauffage de proximité ont été proposées (voir sous-section 3.2.3). La mesure des consommations de ces équipements est primordiale pour s'assurer qu'elle soit bien strictement inférieure à la réduction de consommation de chauffage induit par le changement de température.

Grâce à ces enregistreurs, il est possible de déterminer la moyenne d'utilisation journalière des appareils électriques au cours de la journée. Celle-ci a pu être déterminée sur les 10 premières semaines d'expérience car les enregistreurs ont par la suite été déphasés.

La construction de cette moyenne d'utilisation est la suivante : Quand un appareil électrique est en cours d'utilisation, le moment de la journée est retenu et puis sommé avec les mêmes moments des autres journées ce qui permet de regrouper les données minute par minute. Ensuite, la somme des moments à laquelle elle a eu lieu est divisée par le nombre de jours et de personnes.

Cette démarche permet de révéler les tendances et variations horaire de l'utilisation électrique des équipements, ce qui peut être mis en perspective avec la moyenne journalière des émissions de CO₂ du mix électrique belge. Ceci permet de déterminer si les pratiques observées utilisent une électricité décarbonée ou non. De plus, si la pratique du Slowheating venait à se généraliser, un tel exercice permettrait d'aider au développement des nouvelles unités de production d'électricité.

Grâce aux données d'Elia (gestionnaire du réseau électrique belge) [82] et avec la même méthode précédemment citée, l'intensité carbone journalière du mix électrique belge peut être construite durant les 10 premières semaines de l'expérience. Toutes ces constructions sont présentées à la figure 4.11.

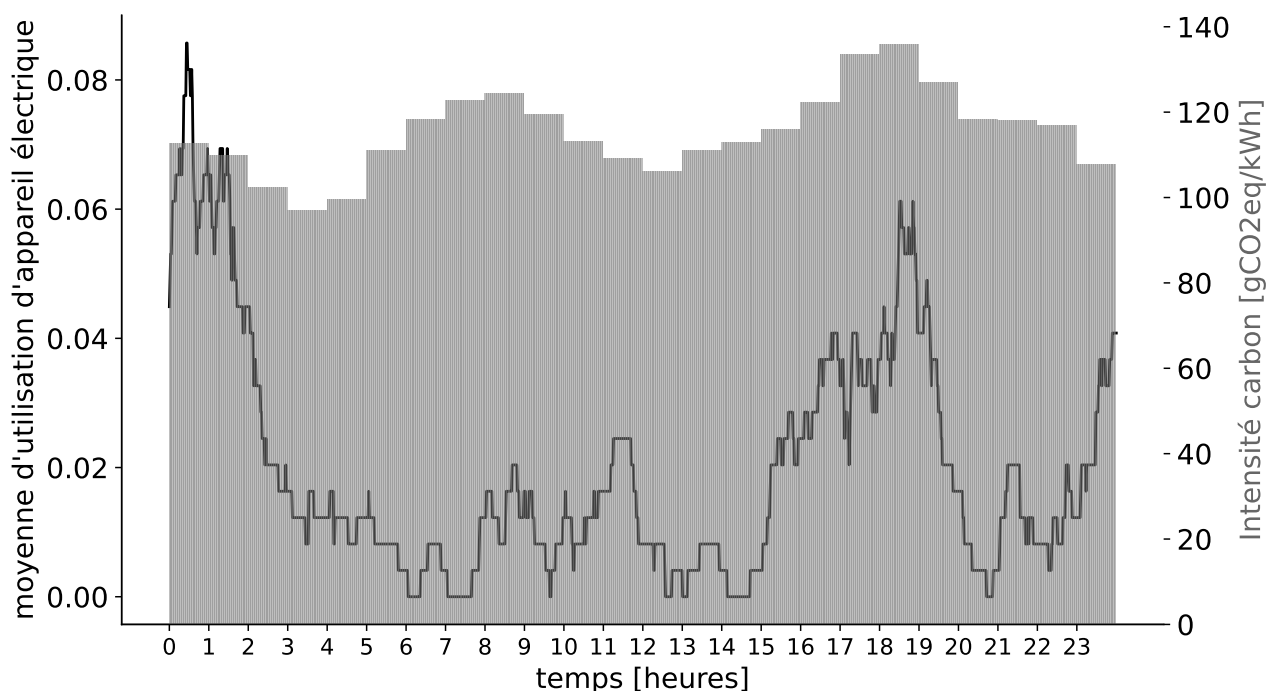


FIGURE 4.11 – L'utilisation de ces appareils se déroule majoritairement la nuit avec les surmatelas chauffants ou en soirée, après les journées de cours.

4.1.4.6 Discussion : La consommation électrique des équipements Slowheat durant les 20 semaines d'expérience s'élève à 33.3 kWh.

La figure 4.11 met en évidence que les moments où l'utilisation d'appareils électriques sont les plus grands se situent soit pendant la nuit entre 0h00 et 2h00, ce qui s'explique par l'utilisation de surmatelas chauffants, soit en début de soirée vers 18h00, ce qui correspond à la fin des cours universitaires.

Un lien peut être établi avec la probabilité de présence journalière issue des EDP présentée précédemment à la figure 4.4. La probabilité de présence qui augmente la nuit entre 0h00 et 2h00 correspond au moment où l'utilisation d'appareils électriques est la plus grande. Ceci s'explique par la mise en marche des surmatelas chauffants.

Le pic de 18h00-19h00 correspond en début de soirée et au retour des cours ce qui explique l'augmentation du recours aux systèmes de chauffage électrique. M. Stas a pu mettre en évidence dans ses interviews que la fatigue jouait un rôle clé dans la perception du froid par les étudiants (voir section 7.1).

Il est cependant difficile d'assimiler ce moment à l'usage d'un appareil électrique en particulier. En effet, l'affinité avec certains équipements dépend fortement d'une personne à l'autre. Là où certains préfèrent les tapis de souris chauffants, d'autres favorisent les bouillottes. Permettre aux étudiants de tester les différentes solutions pour qu'ils choisissent par la suite celles qui leur conviennent le mieux permettrait d'éviter d'acheter une grande quantité d'appareils.

Durant les 20 semaines d'expérience, les capteurs ont enregistré une consommation électrique totale de 33.3 kWh ce qui représente la consommation d'un frigo classique pendant 10 semaines. Un étudiant moyen est considéré comme un petit consommateur d'électricité en Belgique, il consomme 600 kWh par an [83]. La pratique menée par les étudiants représente donc 5.5% de la consommation moyenne d'un étudiant, ce qu'il est raisonnable de considérer comme une faible consommation électrique.

Grâce aux résultats de la consommation énergétique de chauffage du KE (voir figure 4.10), la consommation électrique mesurée représente donc 0.48% de l'énergie de chauffage, ce qui est insignifiant. La pratique du Slowheating ne transfère donc pas une consommation de chauffage thermique vers une consommation de chauffage électrique.

L'intensité carbone du mix électrique belge est minimale en début de nuit (entre 1h00 et 3h00 du matin), ce qui correspond à la moyenne maximale d'utilisation d'électricité observée lors de l'expérience. Cependant, les utilisations d'appareils basse puissance en début de soirée consomment l'électricité la plus carbonée.

De ce fait, la généralisation du Slowheating contribuera à augmenter légèrement la demande en électricité durant la nuit (0h00-2h00) et en début de soirée (18h00-19h00). Cependant, il est important de rappeler que cette consommation électrique est très faible (33.33 kWh).

Un pic de consommation d'électricité est également compatible avec des panneaux photovoltaïques (PV). Les toitures qui sont orientées d'Est en Ouest et qui possèdent des PV sur l'ensemble de la toiture sont pleinement capables de répondre aux besoins en électricité du Slowheating. Imaginer se servir de la pratique du Slowheating pour faire du stockage d'électricité avec les PV est envisageable, mais au vu de la consommation électrique, cette solution ne semble pas être la plus adaptée.

4.2 Résultats de la simulation

Le modèle numérique permet de prédire les réductions de consommation d'énergie dans le KMI grâce aux comportements observés dans le KE. Dès lors, grâce aux données explicitées à la table 4.1, il est possible de quantifier la réduction de consommation qu'aurait eu le KMI si les étudiants du KE avaient réalisé l'expérience dans ce kot.

4.2.1 Impact d'une pratique de Slowheating sur la consommation énergétique du KMI

4.2.1.1 Résultat : Intégrer des profils Slowheat dans le kot par défaut pour connaître la réduction de consommation d'énergie de chauffage.

Il est possible d'exprimer la réduction de consommation énergétique du KMI par l'intégration des profils des étudiants du KE (voir appendix A). L'intégration des étudiants se fait systématiquement dans le même ordre (de la chambre 9 à la chambre 1) pour que les légères disparités qui peuvent exister d'une chambre à l'autre surgissent aux mêmes endroits. Chaque profil est constitué de la température moyenne des deux mois les plus froids dans la chambre, d'une présence dans la chambre et dans le commu. Comme décrit dans sous-section 3.3.3, la ventilation n'est pas implémentée par profil, elle reste donc constante à la valeur par défaut (valeur des occupants du KMI). Le résultat obtenu est donc le meilleur résultat que l'on peut espérer d'une pratique de Slowheating dans un kot UCLouvain.

Deux cas sont présentés. Tout d'abord, les espaces communs (commu, couloirs, sanitaires, entrée) sont maintenus à leurs valeurs par défaut mesurées durant l'expérience (voir la liste des hypothèses par défaut du modèle à la table 3.4). Ensuite, ces mêmes espaces sont tous fixés à la température du commu du KE durant les deux mois les plus froids, à savoir : 14.9 [°C].

Ces constructions peuvent être retrouvées à la figure 4.12.

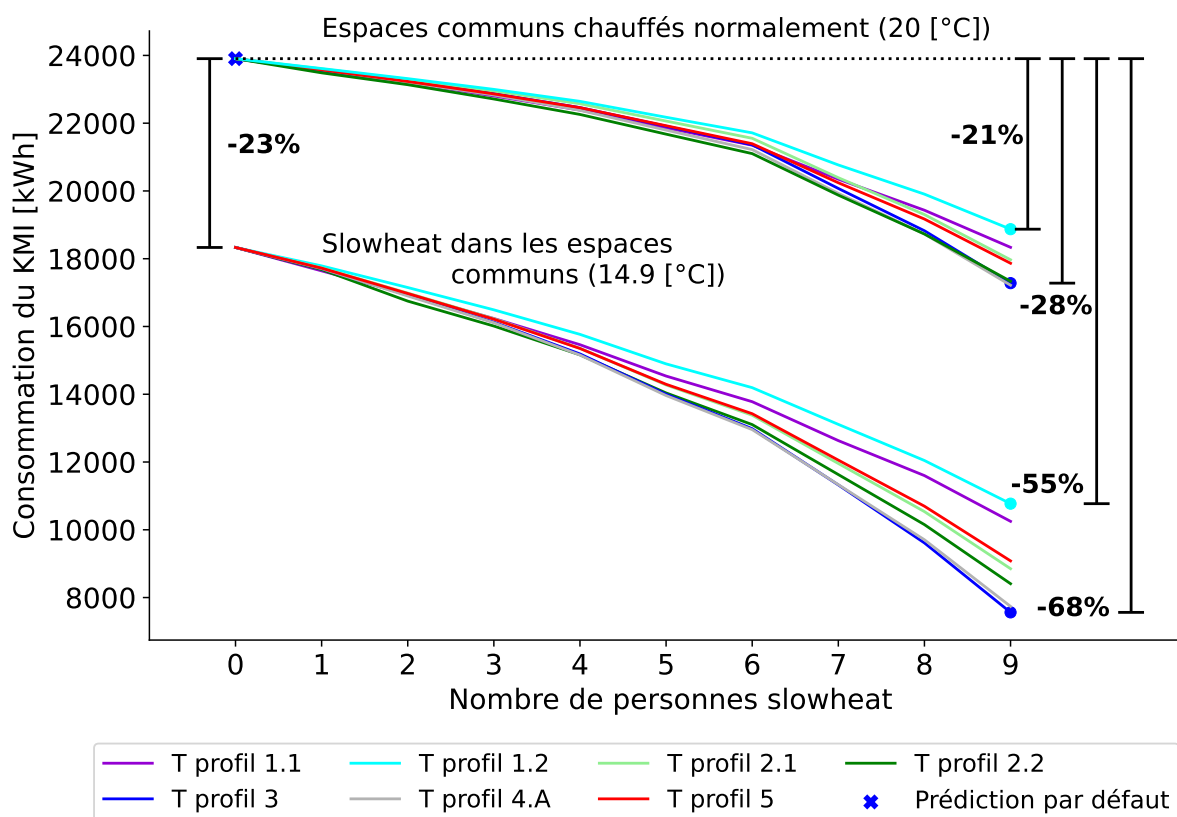


FIGURE 4.12 – Pratiquer le Slowheating permet une réduction de consommation entre 55% et 68% dans le KMI.

4.2.1.2 Discussion : Pratiquer le Slowheating uniquement dans les chambres est presque équivalent à le pratiquer uniquement dans les espaces communs. Le faire dans tout le kot permet de plus grandes réductions.

Avec l'intégration des profils étudiants dans le KMI, la consommation du kot diminue, car les chambres ont moins besoin d'énergie de chauffage pour atteindre la température souhaitée par l'occupant. De ce fait, au plus le nombre d'étudiants pratiquant le Slowheating est important, au plus les réductions de consommation le sont également. Dès lors, un unique étudiant pratiquant le Slowheating dans sa chambre aura peu d'impact sur la consommation du kot (entre -1.2% et - 1.5%). Par contre, si tous les étudiants décident de le pratiquer, la réduction est comprise entre 21% et 28%.

Si le kot décide de pratiquer le Slowheating uniquement dans les espaces communs, la réduction espérée équivaut à 23%. Pratiquer le Slowheating de cette façon permettrait peut-être d'augmenter le taux d'acceptabilité de la démarche.

Il est intéressant de constater que pratiquer le Slowheating uniquement dans les chambres est presque équivalent à le pratiquer uniquement dans les espaces communs (différence de 5%). Ce résultat s'explique, car la surface au sol totale des chambres (119.2 m^2) est similaire à la surface au sol totale des espaces communs (110.4 m^2). La variation de 5% est due au choix de température de l'espace commun ($14.9 \text{ }^\circ\text{C}$) qui se situe entre le choix des profils de l'expérience, à savoir $15.91 \text{ }^\circ\text{C}$ et $13.54 \text{ }^\circ\text{C}$.

Si le commu suit des températures de l'ordre de celles expérimentées par les étudiants et qu'un occupant décide de pratiquer le Slowheating dans sa chambre, l'impact sera alors plus grand (entre -3% et - 3.4%). L'étude de la courbure de la courbe n'est pas du plus grand intérêt, car son comportement est artificiellement impacté par l'ordre d'intégration des profils dans les chambres. La figure 4.12 a été construite en intégrant systématiquement le nouveau profil de la chambre 9 à la chambre 1 mais si, pour une certaine raison, l'intégration des profils était faite de la chambre 1 à la chambre 9, la courbure serait différente.

On peut noter une rupture de pente à l'intégration d'un 6^{ème} profil. Ceci s'explique car ultérieurement, ce sont les chambres du RDC qui seront ajoutées, or celles-ci sont en contact avec le vide ventilé au niveau de leur sol. Cette pièce étant non chauffée, les besoins en chauffage des chambres en contact avec elle sont plus élevés.

Enfin, si les étudiants décident de pratiquer le Slowheating dans toutes les chambres et les espaces communs, la réduction de consommation espérée à l'échelle du KMI est comprise entre 55% et 68%.

Ce résultat peut être mis en perspective avec la recommandation de l'ADEME qui dit : "1 $^\circ\text{C}$ en moins, c'est 7% de consommation de chauffage en moins." [42, 43, 44]. Comme la surface de l'espace commun est presque équivalente à la surface des chambres, la moyenne des deux permet d'exprimer la température moyenne du kot. Dès lors, la température initiale du KMI est de $\frac{19+20}{2} = 19.5 \text{ }^\circ\text{C}$, la température choisie par le profil 1.2 équivaut à $\frac{15.91+14.9}{2} = 15.4 \text{ }^\circ\text{C}$ et celle choisie par le profil 3 à $\frac{13.54+14.9}{2} = 14.22 \text{ }^\circ\text{C}$. Avec ce choix de température, la réduction de consommation devrait atteindre entre 29% et 41% pour le profil 1.2 et entre 37% et 53% pour le profil 3. Cependant, les simulations présentent une réduction comprise entre 55% et 68% ce qui est largement supérieur. Des réductions de consommation plus importantes que l'ordre de grandeur fourni par l'ADEME se sont également produites lors des premières campagnes de Slowheating où une réduction maximale de 96% à été réalisée [10]. Ce décalage s'explique par le vampirisme thermique présenté à la section suivante (voir sous-section 4.2.1.3).

4.2.1.3 Résultat : Quantifier le vampirisme thermique pour connaître la réduction nette de consommation de chauffage.

Le vampirisme thermique survient quand le kot pratiquant le Slowheating est entouré d'autres kots qui ne le pratiquent pas, ce qui a pour effet d'augmenter la consommation des kots voisins et d'augmenter la réduction relative du kot Slowheat [10]. Quantifier cet effet est donc nécessaire pour déterminer quel est le gain net au regard d'un bâtiment. Ceci est d'autant plus important pour un gestionnaire que celui-ci n'a qu'une vision de la consommation globale du bâtiment et non des kots qui le composent. Cela correspond au parti pris par l'UCLouvain dans son plan transition [11].

L'impact du vampirisme thermique est donc adressé via le profil 3 et le profil 1.2 qui ont respectivement atteint la meilleure (-68%) et la moins bonne (-55%) réduction de consommation du KMI durant leur intégration dans le KMI comme présenté à la figure 4.12.

L'ordre d'insertion des kots Slowheat est le suivant : une situation avec 11 kots classiques sert de référence. Vient ensuite s'ajouter un nouveau kot Slowheat qui remplace un kot classique à l'extrémité. Ensuite, un nouveau kot Slowheat est rajouté à côté du précédent jusqu'à obtenir 11 kots Slowheat les uns à côté des autres comme présenté à la figure 4.13.

N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S
N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S
N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S
N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S
N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S
N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S
N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

FIGURE 4.13 – Ordre d'insertion des kots Slowheat (bleu) à côté de kots classiques (rouge).

la figure 4.13, montre que 4 simulations sont nécessaires pour quantifier l'impact du vampirisme thermique. Ces 4 simulations correspondent à :

1. Toutes les pièces à 20 [°C], les températures frontières à 20 [°C], ce qui représente un kot classique entouré d'autres kots classiques.
2. Toutes les pièces à 20 [°C], les températures frontières des chambres d'une façade à la température des chambres du profil Slowheat et les températures frontières du commu d'une façade à la température Slowheat 14.9 [°C], ce qui représente un kot classique entouré d'un kot Slowheat et d'un autre kot classique.
3. Toutes les chambres à la température de la chambre du profil Slowheat, la température du commu à 14.9 [°C], les températures frontières d'une façade à 20 [°C], ce qui représente un kot Slowheat entouré d'un kot classique et d'un autre kot Slowheat.
4. Toutes les chambres à la température de la chambre du profil Slowheat, la température du commu à 14.9 [°C], les températures frontières des chambres et du commu à 20 [°C], ce qui représente un kot Slowheat entouré de kots Slowheat.

Pour rappel, le Bmi est un bâtiment possédant 11 kots alignés qui ont des surfaces latérales mitoyennes. Le cas limite des kots possédant une façade mitoyenne et une façade avec l'environnement extérieur ne peut être simulé via le modèle numérique de ce travail.

Le résultat est présenté à la figure 4.14 pour le profil 1.2 et à la figure 4.15 pour le profil 3.

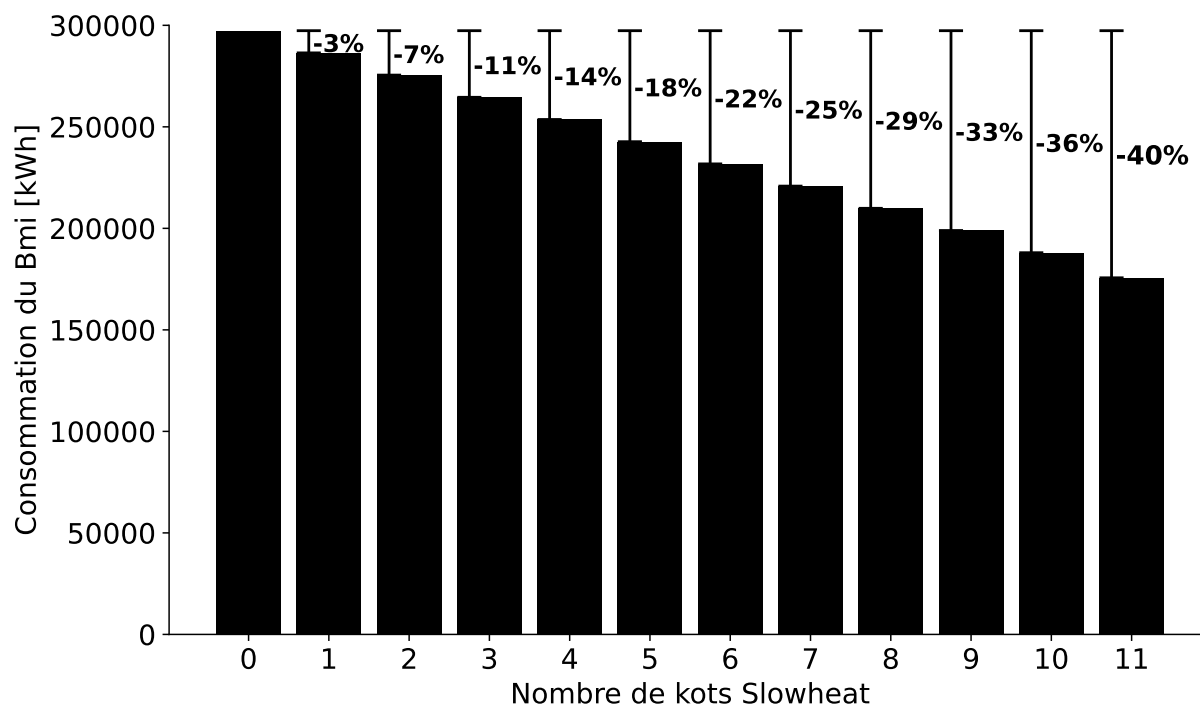


FIGURE 4.14 – Le profil 1.2 atteint une réduction de consommation de 55% dans le KMI mais le résultat net sur le Bmi est de 40%.

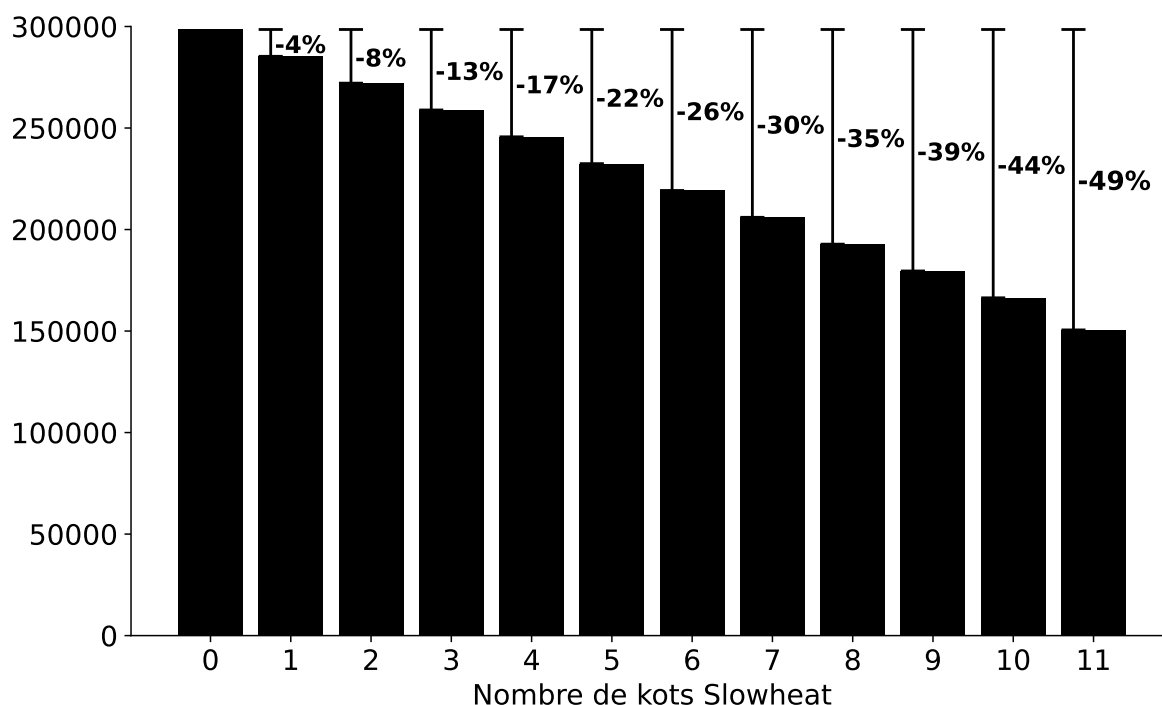


FIGURE 4.15 – Le profil 3 atteint une réduction de consommation de 68% dans le KMI mais le résultat net sur le Bmi est de 49%.

4.2.1.4 Discussion : L'intégration du vampirisme thermique dans les réductions de consommation de chauffage confirme la déclaration de l'ADEME.

À l'échelle du Bmi, l'intégration d'un kot pratiquant le Slowheating comme le profil 3, représente 4% de la réduction de consommation de chauffage et 3% pour le profil 1.2. C'est un résultat attendu car les 68% et les 55% de réduction sont pour un kot. Si ces deux valeurs sont divisées par 11 (le nombre de kots dans le Bmi), alors la réduction s'élève à 6.2% et 5%. L'impact du vampirisme thermique s'élève donc à $\frac{(6.2-4)}{2} =$

1.1% et à $\frac{(5-3)}{2} = 1\%$ d'augmentation de consommation pour les kots voisins.

La réduction nette d'une pratique du Slowheating à l'échelle d'un bâtiment équivaut à 49% pour le profil 3 et à 40% pour le profil 1.2. Ces chiffres sont alignés avec l'ADEME qui prévoit une réduction de 7% de la consommation par degré en moins dans le logement [42, 43, 44].

En reprenant le raisonnement expliqué à la sous-section 4.2.1.1, la température initiale du Bmi est de 20 [°C] et la température moyenne du kot choisie par le profil 1.2 et 3 équivaut à $\frac{15.91+14.9}{2} = 15.4$ [°C] et à $\frac{13.54+14.9}{2} = 14.22$ [°C] (ce qui correspond à la moyenne des températures de l'espace commun et des chambres). Dès lors, la réduction de consommation espérée selon l'ADEME est comprise entre 32% et 46% pour le profil 1.2 et entre 41% et 58%. Les résultats de la simulation se situent pleinement dans cet intervalle avec 40% pour le profil 1.2 et 49% pour le profil 3.

Ce travail vient donc confirmer les résultats de l'ADEME et, dans ce contexte, il peut les reformuler de manière plus précise pour le cas qui l'intéresse, à savoir : "Pour un kot comportant a minima deux façades mitoyennes, 1 [°C] en moins équivaut à une réduction de consommation de chauffage de 12 à 14%. À l'échelle du bâtiment, pour des comportements uniformes, une diminution d'1 [°C] représente une réduction de 8 à 9%. "

4.2.2 Comparaison entre la pratique du Slowheating et l'isolation

4.2.2.1 Résultats : Une comparaison avec et sans vampirisme thermique.

L'impact du Slowheating sur la consommation a été démontré à de nombreuses reprises dans ce travail, mais que vaut ce potentiel au regard de l'isolation thermique des bâtiments comme discuté en section 2.1. Pour illustrer cette comparaison, différents scénarios sont simulés et sont comparés au modèle par défaut décrit à la sous-section 4.2.1.3.

Tout d'abord, une comparaison est réalisée sans l'impact du vampirisme thermique. Trois scénarios sont alors comparés par rapport au modèle par défaut : 1) Scénario d'isolation du bâtiment pour atteindre les exigences PEB réglementaires belges, $U_{\text{parois}} = 0.24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ et $U_{\text{vitrage}} = 1.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ [84]. 2) Scénario Slowheat où l'ensemble du kot choisit la température moyenne des deux mois les plus froids du KE, à savoir 14.62 [°C] (voir table 4.1). 3) Scénario d'une combinaison de l'isolation PEB réglementaire avec la pratique de Slowheating du scénario 2.

Ensuite, une comparaison est réalisée avec l'impact du vampirisme thermique. Ces trois scénarios sont les mêmes que ceux décrits précédemment en imposant que les 2 voisins choisissent une température de 14.62 [°C]. Tous ces scénarios peuvent être retrouvés à la figure 4.16

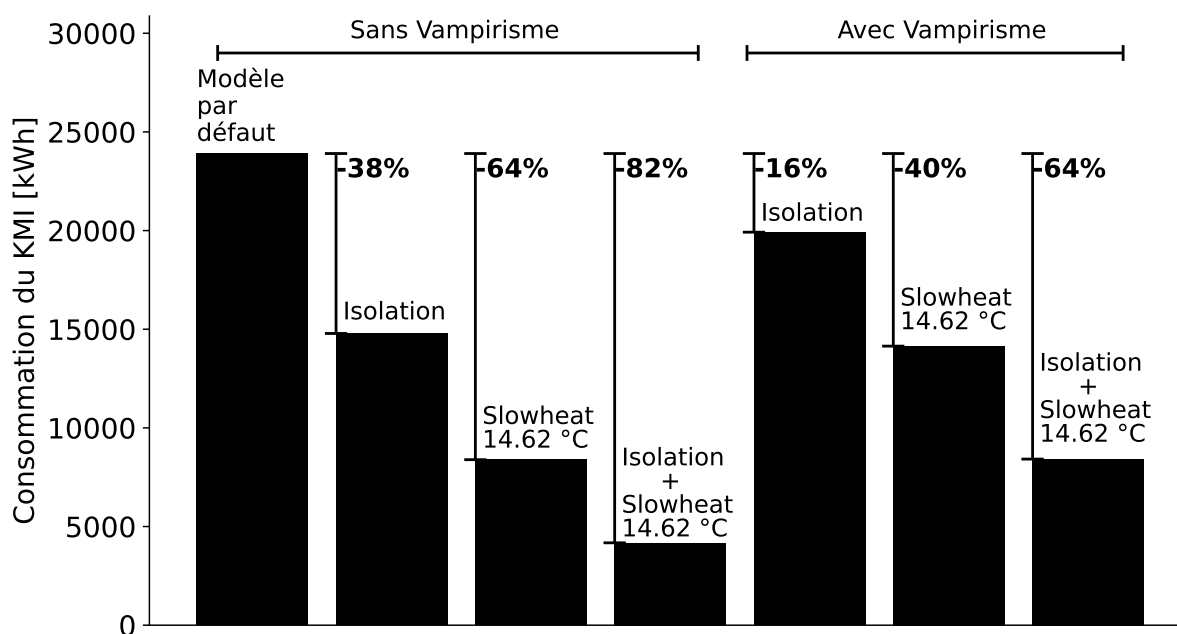


FIGURE 4.16 – Une combinaison d'un scénario de rénovation avec une pratique du Slowheating permet une réduction maximale de consommation d'énergie de chauffage.

4.2.2.2 Discussion : La pratique du Slowheating est plus efficace que le recours à l'isolation réglementaire PEB.

La figure 4.16 montre qu'avec ou sans vampirisme thermique, la pratique du Slowheating est toujours plus efficace que l'isolation PEB réglementaire. La combinaison des deux approches permet d'atteindre des réductions encore plus importantes.

Chapitre 5

Regard critique

5.1 Limites de l'étude

Cette section a pour objectif de présenter les limites du travail pour mieux appréhender ses résultats dans le contexte qui est le sien.

Tout d'abord, comme décrit dans le cadre de référence (voir section 3.1), suivre une population d'individus sur une certaine période afin de comprendre ses habitudes dans la complexité que représente une dynamique sociétale est une démarche proche d'une ethnographie. Bien que ce travail n'en soit pas une, il possède les mêmes avantages et les mêmes limites. À savoir, une meilleure compréhension des dynamiques sociales ainsi qu'une contextualisation plus forte des données, mais comme l'échantillon est réduit, il n'est peut-être pas représentatif. Cependant, une telle démarche reste intéressante pour construire une première intuition de l'intégration du Slowheating à l'UCLouvain.

Le KE étant le lieu de vie de l'auteur du travail, cela crée inéluctablement un biais de désirabilité sociale, conscient ou inconscient. Même si une attention particulière a été adressée à ce biais tout au long de l'expérience. De plus, les étudiants du KE sont des colocataires et amis de l'auteur, ce qui a induit un autre biais de la part des participants. Il faut toutefois rappeler que le choix de la température de leur chambre leur revenait entièrement.

Pour la simulation numérique, conformément à l'analyse de sensibilité sous-section 3.4.2, l'infiltration d'air dans le bâtiment est un paramètre d'une grande importance sur la prédiction de la consommation. Cette valeur a fait l'objet d'une hypothèse de valeur PEB par défaut, car une mesure représente un test compliqué à mettre en oeuvre dans le cadre de ce travail. Il s'agit donc d'une hypothèse raisonnable mais qui représente une limite non négligeable.

Bien qu'ayant un impact moins important que l'infiltration d'air, la ventilation représente également un paramètre important de la simulation. Étant donné que le déclaratif moyen des étudiants ne correspond pas aux observations faites sur l'humidité relative, un critère subjectif d'une diminution 5% d'HR en 20 minutes a été assimilée à une ventilation. Ce critère a montré son efficacité dans les chambres mais moins dans les espaces communs. Cependant, il permet de caractériser le comportement des habitants sans faire d'hypothèse.

L'incorporation des comportements des étudiants (température moyenne, ventilation et présence) du KE dans le KMI a présenté une limite sur la ventilation. L'étanchéité des deux kots étant différente, le comportement de ventilation n'a pas été le même. Celui-ci n'a donc pas été implémenté lors de l'intégration de profils du KE dans le KMI (voir figure 4.12).

La simulation numérique est réalisée pour un unique kot nommé le KMI. Cependant, le KMI fait partie du Bmi qui contient 11 kots semblables et les données de chauffage fournies par LOGE concernent le bâtiment dans son ensemble. Dès lors, la consommation du KMI a été multipliée par 11 pour pouvoir être comparée aux données fournies. Cependant, le KMI étant mitoyen sur deux façades, multiplier la consommation par le nombre de kots implique que les deux dernières surfaces profitent également d'un chauffage mitoyen au lieu d'être en contact avec l'air extérieur, ce qui représente une imprécision. Celle-ci est jugée acceptable, sachant qu'une de ces deux façades limites est en contact avec le local technique où se trouvent les chaudières.

La température moyenne des chambres du KMI a été mesurée à 19 °C sur les 18 semaines de l'expérience. Cependant, étant donné que durant la phase de test, le KMI faisait partie des candidats pour accueillir

l'expérience, il a été demandé à tous ses membres de fermer les radiateurs de leur chambre durant la semaine du 27 novembre au 3 décembre. Une fois les résultats présentés aux étudiants, ils ont estimé qu'il n'était pas nécessaire de réactiver leur chauffage pour l'hiver. Dès lors, la température mesurée a peut-être été sous-évaluée par rapport à un public étudiant classique.

5.2 Perspectives

Cette section a pour objectif de rassembler de potentielles questions de recherche qui ont émergé à la suite de ce travail. Chaque question est introduite par une constatation.

Questions technologiques :

La figure 4.1 a mis en évidence l'incapacité de 4 kots sur 5 à pratiquer le Slowheating. Quelle est la proportion des kots de l'UCLouvain qui pourraient directement accueillir une pratique du Slowheating ?

La figure 4.16 met en évidence que la rénovation réglementaire PEB belge induit une plus faible réduction de la consommation d'énergie que la pratique du Slowheating. Quelle est l'ambition minimale d'isolation d'un kot pour atteindre des résultats similaires à la pratique du Slowheating ?

Questions sociologiques :

De nombreuses questions sociologiques se posent suite à ces résultats. Bien que ce travail ne permette pas d'y répondre, elles sont tout de même adressées pour des études futures :

Ce travail a pu mettre en évidence une équivalence de présence des étudiants en kot entre le début du quadrimestre et le milieu de celui-ci figure 4.2. Quels sont les facteurs de présence des étudiants dans leur kot ?

Une des limites précédemment citée est la faible représentativité de l'échantillon étudié section 5.1. Dès lors, quantifier le taux d'acceptabilité de la pratique du Slowheating à l'UCLouvain semble primordiale. Quel est le taux d'acceptabilité de la pratique du Slowheating à l'UCLouvain ?

La figure 4.12 présente l'impact du nombre d'étudiants pratiquant le Slowheating sur la consommation du kot, ce qui questionne sur la possibilité d'un effet de groupe amenant d'autres étudiants à le pratiquer également. Existe-t-il un point de bascule à partir duquel la pratique du Slowheating se généralise à l'ensemble des occupants d'un kot ? Si oui, quelle est la proportion d'étudiants nécessaires pour le voir apparaître ?

La représentation du froid varie d'une culture à l'autre, certaines lui attribuant des effets vivifiants et d'autres l'assimilant à la mort [85]. Comment le Slowheating doit-il être communiqué dans le monde au regard des différences culturelles ?

La figure 2.2 met en évidence une consommation des maisons flamandes possédant un faible score PEB (E - F) nettement inférieur à la consommation supposée. Comment les publics vivant dans des maisons à faible efficacité énergétique envisagent le Slowheating et comment peuvent-ils améliorer sa pratique ?

Questions sociotechnologiques :

L'isolation d'une unique pièce d'un kot couplé à la pratique du Slowheating est-elle plus acceptée ?

Chapitre 6

Conclusion

Ce travail a pu mettre en évidence que 4 kots de l'UCLouvain sur les 5 observés n'ont pas pu pratiquer le Slowheating, car les occupants ne pouvaient pas diminuer suffisamment la température moyenne intérieure. Ce problème a été diagnostiqué comme étant un surdimensionnement des installations de chauffage dû aux pertes thermiques dans les conduites. Une révision à la baisse de la courbe de chauffe permettrait la correction de ce problème.

Dans le même temps, un kot privé a pratiqué le Slowheating pendant 20 semaines démontrant que cette pratique est atteignable par les étudiants et ce de manière immédiate. Les occupants ont choisi une température intérieure moyenne de 15.51 [°C] dans l'ensemble du logement et une température intérieure moyenne comprise entre 15.91 [°C] et 13.54 [°C] dans leur chambre respective pendant les deux mois les plus froids. Ce choix a permis une réduction de la consommation d'énergie de chauffage comprise entre 30% et 51% avec un report sur la consommation électrique de 33.3 kWh.

Le modèle informatique a permis de transposer les comportements observés lors de l'expérience dans un kot de l'UCLouvain, ce qui indique une réduction maximale possible comprise entre 55 % et 68 % de la consommation de chauffage.

Ces résultats sont moins importants si tous les kots pratiquent le Slowheating ensemble et ce en raison du vampirisme thermique. La réduction de consommation d'énergie de chauffage espérée est alors comprise entre 40% et 49% à l'échelle du bâtiment. Malgré cela, si la pratique se répand, les résultats en relatif seront moins importants, mais les résultats en absolu seront plus grands, permettant donc plus d'économie en consommation de gaz et d'émission de CO₂.

La rénovation PEB réglementaire a un impact moindre sur la réduction de consommation d'énergie de chauffage que la pratique du Slowheating, mais la combinaison des deux approches permet une réduction encore plus grande comprise entre 64% et 82%.

Durant l'expérience, il a également été constaté que la présence des étudiants était très variable en fonction de l'individu et de la période académique. En comparant ces résultats à ceux de l'université de Clarkson University's campus, Woodstock Village, des différences significatives sont apparues. Dès lors, caractériser la présence des étudiants n'est pas généralisable à d'autres universités.

Le matériel effectivement utilisé varie très fort d'une personne à l'autre. Pour éviter l'achat de matériel inutile, une location des équipements à tester pourrait être mise en place.

Un écart moyen de 0.54 [°C] entre la température réellement vécue par l'étudiant et la moyenne de température de la chambre a pu être quantifié sur l'ensemble des EDP et des étudiants. Cet écart permet de considérer la température moyenne de la chambre comme représentative de la température moyenne vécue par l'occupant.

Organiser la pratique du Slowheating dans l'ensemble d'un bâtiment de l'UCLouvain permettrait de confirmer les résultats présentés et de diffuser la méthode dans l'enceinte de l'université, pour ensuite la proposer à tout un quartier et enfin à l'ensemble du campus.

Chapitre 7

Recommandation OIKOS

Cette section est le travail commun de deux étudiants de spécialités différentes travaillant sur une thématique commune : la pratique du Slowheating. À l'intérieur de celle-ci, leurs observations sont comparées pour compléter ou infirmer les résultats obtenus dans leurs travaux respectifs. Une synthèse de l'ensemble de ces éléments est disponible à la fin de la section. Enfin, un retour d'expérience des mémoires Oikos est partagé pour permettre l'amélioration du dispositif.

7.1 Comparaison des résultats

Dans le cadre des mémoires Oikos, partenariats de mémoires pluridisciplinaires, M. Stas, étudiante en communication et L.Lieutenant, étudiant ingénieur civil mécanicien ont travaillé sur une même thématique "le Slowheat". Les questions de recherche de ces deux étudiants sont les suivantes :

L. Lieutenant : Quel est le potentiel d'une pratique de Slowheating dans un kot à l'UCLouvain ?

M. Stas : Comment communiquer sur la pratique du Slowheat afin que celle-ci soit acceptée par le public des étudiants habitant dans les kots à l'UCLouvain ?

Pour répondre à ces questions, L.Lieutenant a organisé une expérience durant laquelle huit étudiants ont pratiqué le Slowheating sur l'hiver 2023-2024. En parallèle, il a développé une simulation thermique d'un kot UCLouvain dans laquelle il a comparé la consommation d'étudiants aux comportements de chauffage classique avec les comportements observés lors de l'expérience dans le but de quantifier la réduction de consommation.

M. Stas a interviewé les différents participants de l'expérience afin d'en tirer différentes conclusions : quel est le meilleur équipement à utiliser/ éviter, quels sont les arguments pour convaincre un étudiant de pratiquer le Slowheat, quels freins, contre-arguments, points négatifs est-il possible de rencontrer ? Ces résultats ont été comparés aux interviews de quatre étudiants ne pratiquant pas le Slowheat.

Tout cela a été fait dans le but de construire une liste de recommandations à l'attention de l'UCLouvain sur base de la mise en commun de leurs résultats respectifs que voici.

Le constat : Les étudiants ne savent pas gérer la température de leur kot

Nous avons constaté au travers des interviews menées auprès d'étudiants pratiquant l'expérience Slowheat, et d'autres étudiants habitant dans des kots UCLouvain, que ceux-ci indiquent avoir des problèmes avec la gestion de la température dans leur kot :

"J'ai été deux ans dans un kot UCL, mes cokoteuses chauffaient énormément et moi, je vivais la fenêtre ouverte toute l'année parce que le kot était du coup très chaud de base. Même quand il neigeait dehors, ma fenêtre était ouverte." Interviewée 1.1, décembre 2023

Le problème viendrait donc du fait que les chauffages de l'UCL sont *"trop puissants"* :

"Je faisais attention à bien tout le temps allumer mon radiateur genre quinze minutes le temps que la pièce chauffe et après j'éteignais parce que je ne supportais pas. Mais c'est parce que ça chauffait vraiment

d'un coup." Interviewée 4, décembre 2023

Nous pourrions penser que le discours de la première étudiante serait isolé, pourtant nous constatons le même comportement chez une étudiante en kinésithérapie : *"c'est juste quand j'ai froid, j'allume et si on a chaud, on ouvre la fenêtre."* kokoteuse UCLouvain 2, mai 2024

Ce constat est confirmé dans les graphiques ci-dessous. En plus de l'expérience Slowheat menée dans le kot de L. Lieutenant, un relevé des températures a également été effectué dans différents kots à projets désireux de tester la pratique. Nous pouvons observer que ceux-ci n'ont pas réussi à descendre bas en terme de température car leurs chauffages étaient trop puissants.

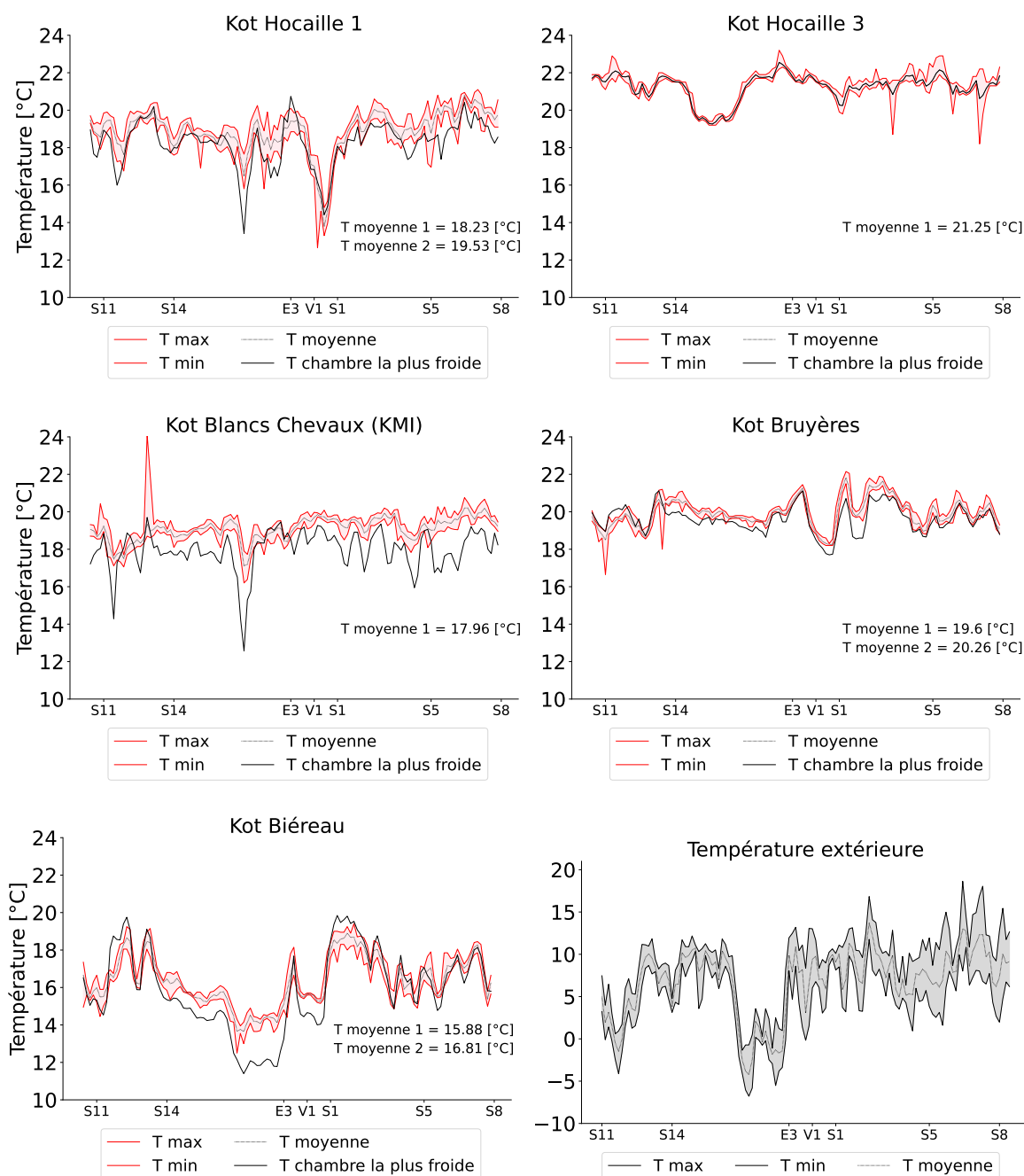


FIGURE 7.1 – Un seul kot de l'UCLouvain sur 5 observés pendant l'hiver 2023-2024 a été en capacité de pratiquer le Slowheating dans ses chambres.

Une solution possible :

Notre hypothèse serait qu'il faudrait agir sur la courbe de chauffe. Pour rappel, il s'agit du choix de la température d'eau dans le circuit de distribution de chauffage en fonction de la température extérieure. Dès lors, si cette courbe est trop élevée pour une certaine température extérieure, l'eau de chauffe possède également une température élevée avec comme conséquence un surplus de chauffage par rapport au souhait de l'occupant.

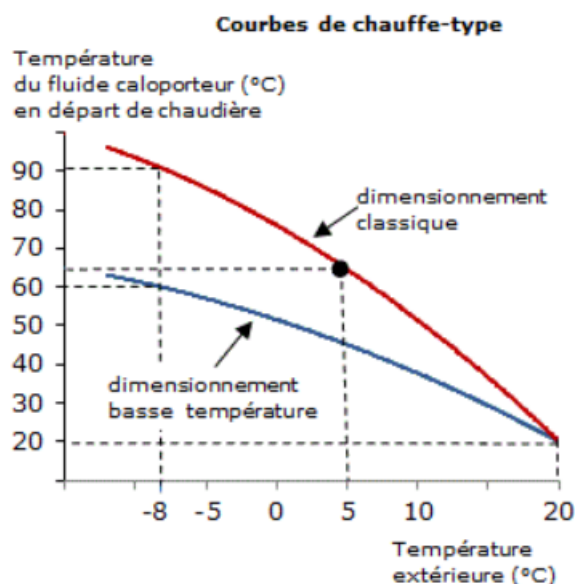


FIGURE 7.2 – Schéma théorique de la courbe de chauffe.

Sur base du volontariat, une campagne de collecte de données de température et d'humidité relative dans des chambres d'étudiants pourrait être organisée quand ceux-ci mettent leur chauffage sur 0. Ceci permettrait à LOGE d'avoir une meilleure idée des conditions de chauffage des occupants. Il est cependant nécessaire de s'assurer au préalable que chaque étudiant du bâtiment a accès à un chauffage fonctionnel et qu'une diminution de la courbe de chauffe n'empêcherait pas les étudiants situés à l'extrémité de la chaudière de pouvoir se chauffer.

Grâce à ces données, une correction des courbes de chauffe permettrait aux étudiants de pouvoir réellement choisir la température dans leur chambre au lieu de la subir comme décrit dans les citations précédentes.

Les différents équipements et la cohérence entre eux

Les équipements proposés aux étudiants étaient les suivants, ils sont triés en terme de préférence de la part des étudiants. Cette même observation ressort des deux mémoires.

TABLE 7.1 – Équipement Slowheat trié par efficacité.

Les ponchos	L'équipement qui attire les étudiants et le plus utilisé par les étudiants expérimentant la pratique.
Chaussons	Équipement nécessaire pour protéger les extrémités du corps souvent source d'inconfort.
Les bouillottes électriques	Un équipement utile lorsque l'étudiant est statique
Les surmatelas chauffants	Utile pour donner un petit coup de chaud avant de dormir, pour rentrer dans son lit.
Les gros pulls/ thermiques	Le pull : Il s'agit d'un équipement utilisé par tous, sans savoir qu'ils pratiquent le slowheat. Les thermiques : possèdent un taux d'acceptabilité plus bas.
Les plaids	Utiles pour prêter aux invités et pour avoir chaud au quotidien
Le tapis de souris chauffant	Équipement pas encore essayé au moment des interviews Dans les faits : a été utilisé par 2 participantes
Les chaussons connectés à une prise	Équipement compliqué à utiliser dans la pratique : les étudiants ne restent pas sans bouger.
Les panneaux radiants	Équipement encombrant et peu utilisé

Les coûts éventuels de l'application du Slowheat à l'échelle des bâtiments de l'UCLouvain

Maintenant que nous avons identifié les différents équipements à privilégier pour pratiquer le Slowheat, voici le prix de ceux-ci ainsi que leur puissance.

TABLE 7.2 – Équipements les plus efficaces pour une pratique de Slowheating avec leur prix.

L'équipement	Prix unitaire	Puissance
Capteur de température et humidité relative	31.26 €	Classe A (0 W)
Poncho	27.96 €	Classe A (0 W)
Bouillotte	18.96 €	Classe B (200 W en 15 minutes)
Surmatelas chauffant	24.99 €	Classe B (20 – 60 W)

Si tous ces équipements étaient acquis, cela reviendrait à un budget de 103,17 € par étudiant. Le capteur de température et d'humidité relative semble être un indispensable. Pour le reste, il pourrait être possible de proposer un service de location d'équipements aux étudiants pour que ceux-ci puissent tout tester avant de définir quel matériel leur convient le mieux.

Biais observés

Nous avons, dans les interviews, observé un certain biais de désirabilité sociale chez certains participants : un étudiant déclare : *"Dans le kot ce n'est pas mal des grandes gueules. Du coup je pense que il y en a pas un qui va rester timide et qui va rien dire."* Interviewé 3, décembre 2023

Pourtant, un interviewé avoue l'inverse : *"Je sais bien que j'ai un ego et que je n'arriverai jamais à dire*

non, il fait trop froid, je subis, on arrête, ça me ferait trop de mal de bloquer son mémoire." Interviewé 5, décembre 2023

Il ressort donc qu'il y aurait un phénomène de biais de désirabilité sociale chez les étudiants.

Ce qui se dit dans les interviews se confirme-il dans les données ?

Nous nous sommes donc demandés si suite à ce biais, les propos des étudiants se confirmaient dans les données.

Voici ce qu'un étudiant nous partage à propos d'un équipement qu'il utilise : *"Les surmatelas chauffants, ça, ça aide beaucoup le soir pour rentrer dans son lit."* Interviewé 5, décembre 2023

Nous pouvons voir sur ce graphique que la consommation d'électricité maximale a lieu durant la nuit (00h – 2h00), ce qui correspond à l'utilisation des sur-matelas chauffants. Cela vient confirmer les déclarations des étudiants.

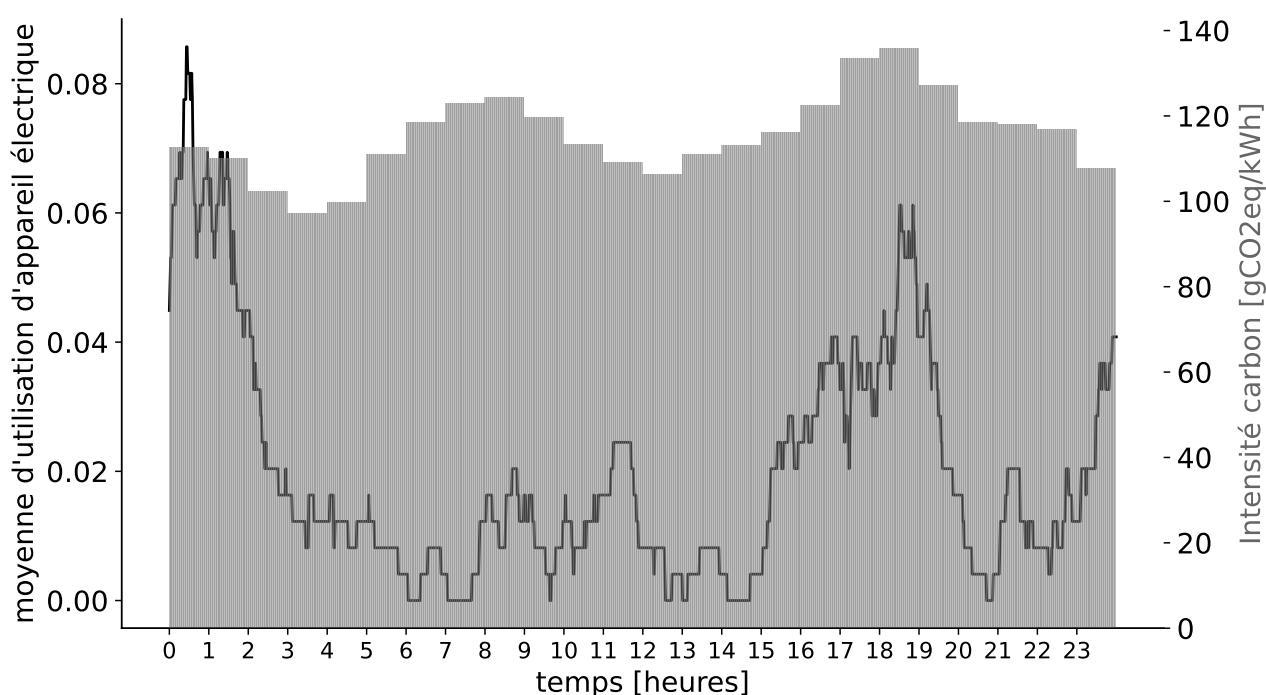


FIGURE 7.3 – L'utilisation de ces appareils se déroule majoritairement la nuit avec les surmatelas chauffants ou en soirées après les journées de cours.

Nous avons également noté une perception du froid plus accrue lorsque l'état de fatigue des étudiants était plus élevé. Une étudiante ne pratiquant pas le Slowheat nous indique ressentir davantage le froid à un certain moment de la journée : *"Moi ça joue quand je suis fatiguée, genre quand tu fais la fête la veille et le lendemain je trouve que t'as plus froid, surtout le soir, genre vers 17 18"* koteuse UCLouvain, mai 2024

Il y aurait donc une corrélation entre ce propos et les données relevées chez les participants : La consommation en début de soirée (18h00 – 19h00) qui correspond au retour des cours et l'utilisation de différents appareils, principalement les bouillottes et les tapis de souris chauffants qui pourrait aussi correspondre à ce pic de fatigue.

Rappelons que ces données ne peuvent pas mettre en évidence l'habillement, mais celui-ci a joué un rôle fondamental tout au long de l'expérience.

Comment savoir quelles informations mettre en avant ?

De manière à comprendre ce qui nous a été expliqué lors des interviews, nous nous sommes penchés sur la communication environnementale (un domaine de recherche au sein des sciences et de la communication) [86].

En effet, nous avons rencontré un des responsables de la communication à l'UCLouvain qui nous indique avoir besoin d'être au courant des obstacles à la mise en place de la pratique, de sorte à ne pas perdre en crédibilité et de devenir inaudible. (Cfr mémoire M. Stas). La théorie des signaux concurrentiels expliquée dans l'article [87] et développée par Heil et Robertson démontre que, lorsqu'une organisation communique une information, il y aurait des signaux de conformité (les actions respectueuses de l'environnement) et de non-conformité (les violations environnementales). Ces derniers détérioreraient la réputation de l'organisation.

Pour aller plus loin encore, les auteurs parlent de signaux de conformité visibles (les événements, les données et les chiffres), éléments facilement repérables et interprétables par le récepteur et peu visibles (des informations «peu saillantes», difficiles à repérer et à identifier par le récepteur).

Nous avons donc conclu qu'il serait utile d'utiliser des signaux de conformité visibles dans le cadre de la communication autour de la pratique du Slowheat.

Voici donc les chiffres, données et événements identifiés par L.Lieutenant et M.Stas

Les chiffres :

- 84% de l'énergie consommée dans les logements sert à produire de la chaleur. [10]
- *"1°C en moins, c'est 7% d'économie de chauffage"* [42, 43, 44]. Par conséquent, pour chaque réduction de 1°C de la température moyenne intérieure (T_{mi}), on peut s'attendre à une économie énergétique de 7%.

La simulation numérique permet de comparer les gains espérés entre l'isolation d'un kot et la pratique du Slowheating. La pratique du Slowheating comme l'ont vécue les étudiants lors de l'expérience, permet une réduction supérieure (-55%) à une isolation réglementaire PEB (-38%). L'isolation réglementaire PEB correspond à l'ambition minimale en terme de rénovation pour obtenir les subsides disponibles.

Les événements : Nous avons également vu, d'une part dans les signaux de conformité visibles et d'autre part, lorsque nous avons repris une campagne de communication de Greenpeace (poussières), campagne que nous avons repensée pour l'UCLouvain, que les événements (commémorer à date fixe les anniversaires de catastrophes climatiques) étaient un élément à ne pas négliger dans la communication autour du Slowheat.

- "1er janvier 2050, fin du chauffage au mazout"
- "25 juillet 1977, la France oblige ses citoyens à mettre le chauffage sur 19 degrés, sous peine d'une amende de 1500€" [26].
- Inventer une journée sans chauffage : "1er novembre, journée sans chauffage"

Quels sont les freins, les leviers et les arguments à contrer ?

Pour que l'UCLouvain puisse communiquer au mieux sur la pratique, nous avons identifié les différents freins, leviers et arguments à connaître afin qu'elle puisse axer au mieux sa communication :

Les freins :

- L'état de fatigue joue sur la température ressentie
- La volonté de bien s'habiller
- Les difficultés avec les invités
- Les animaux de compagnie
- Le biais de désirabilité sociale de certains étudiants
- La culture de notre pays prônant le chaud
- "Moi je ne pourrais pas"
- La plupart du matériel utilisé durant l'expérimentation provient de Chine.

Tous ces freins sont discutés dans le mémoire de M.Stas où elle propose des éléments de communication pour y répondre.

Les leviers :

- Les équipements fournis par l'UCLouvain
- Donner envie pour plus tard, garder l'habitude
- Contact de proximité avec l'organisateur
- Faire partie d'un projet
- Recevoir des statistiques
- Faire partie d'une recherche
- Partager l'expérience des étudiants ayant testé le Slowheat
- Parler de l'aspect écologique et économique avec des données plus concrètes
- L'argumentaire des chercheurs

Les arguments à contrer :

- Ce sont les grosses entreprises qui doivent se bouger
- Diminuer son chauffage provoque des maladies, de l'humidité,...

7.2 Synthèse en 10 points

1. Les chauffages UCL chaufferaient trop fort. Il serait possible de diminuer la courbe de chauffe afin de résoudre ce problème.
2. De sorte à pouvoir régler cette courbe au mieux, il serait utile d'organiser une campagne de collecte de données de température et d'humidité relative dans des chambres d'étudiants mettant leur chauffage sur zéro pour l'expérience.
3. Les matériels les plus utiles pour pratiquer Slowheat et nécessitant acquisition sont les ponchos en matière plaid, les bouillottes électriques et les surmatelas chauffants.
4. Installer un capteur de température et d'humidité relative à toute personne souhaitant mener l'expérience semble indispensable.
5. Un biais de désirabilité sociale a été observé chez les étudiants expérimentant la pratique. Continuer la recherche plus loin permettrait de mieux comprendre ce phénomène.
6. Ce qui se dit dans les interviews se confirme dans les graphiques.
7. Slowheat dans un kot UCLouvain ce sont 4 mois à 15.5 [°C] de moyenne, ce sont les 2 mois les plus froids à 14.63 [°C] et une réduction de consommation de chauffage pour l'UCLouvain comprise entre 40 et 49%.
8. L'université doit émettre des signaux de conformité visibles (des chiffres, des données et des événements) afin de toucher au mieux sa cible.
9. Les équipements proviennent de Chine, mais l'impact écologique d'une telle importation est moindre que l'utilisation du chauffage, provenant également de loin.
10. Passer par 3 phases (un bâtiment, un quartier, la ville) pourrait permettre au Slowheating d'être implémenté, tout en gagnant en retour d'expérience et en donnant du temps pour régler certaines contraintes techniques.

7.3 Retour d'expérience sur l'organisation des mémoires pluridisciplinaires OiKos

Maintenant que nos mémoires respectifs touchent à leur fin, il nous semble pertinent de partager notre retour d'expérience sur le déroulement d'un mémoire pluridisciplinaire Oikos. Pour ce faire, nous citons l'ensemble des éléments qui ont facilité notre collaboration et ceux qui mériteraient un point d'attention pour de futurs étudiants. L'objectif de cette section est d'améliorer l'organisation des mémoires pluridisciplinaires dans le futur.

- Une uniformisation de la date de choix des mémoires nous semble nécessaire pour permettre à des étudiants qui souhaitent développer des questions de recherche, le temps et la possibilité de rencontrer d'autres futurs mémorants qui souhaiteraient travailler sur la même thématique.
- Les calendriers académiques peuvent aider ou pénaliser les mémoires Oikos. Dans notre cas, le stage de M.Stas a ralenti le lancement de la collaboration, mais la date commune de remise de nos mémoires nous a permis d'organiser équitablement notre travail commun.
- Une évaluation spécifique et centrée sur la production pluridisciplinaire avec une grille d'évaluation permettrait aux étudiants de mieux cerner les exigences attendues de leur part en plus de renforcer la mise en commun de leurs différentes compétences.

Ces points d'attention sont des remarques que nous souhaiterions souligner suite à notre expérience personnelle. Nous sommes très heureux d'avoir pu être mis en contact pour travailler ensemble sur la thématique du Slowheating. Nous encourageons tout étudiant à se confronter à d'autres expertises que son unique champ de compétence.

Bibliographie

- [1] « Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers ». In : (). URL : https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf.
- [2] *Émissions par secteur*. Klimaat | Climat. URL : <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur> (visité le 10/05/2024).
- [3] SPW. *Émissions de gaz à effet de serre - État de l'environnement wallon*. Etat de l'environnement wallon. URL : http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr_BE/sites/eew/contents/indicator sheets/AIR%201.html (visité le 10/05/2024).
- [4] *Stratégie wallonne de rénovation*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/strategie-de-renovation.html?IDC=9580> (visité le 10/05/2024).
- [5] *08/09/2022 : Crise énergétique : nouvelles mesures adoptées par le Gouvernement wallon*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/08-09-2022-crise-energetique-nouvelles-mesures-adoptees-par-le-gouvernement-wallon.html?IDC=8187&IDD=162931> (visité le 10/05/2024).
- [6] Denis DE GRAVE, Amélie ANCIAUX et Geoffrey VAN MOESEKE. « SLOWHEAT : définition de la pratique ». fr. In : (2022). Number : UCL - Université Catholique de Louvain. URL : <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:267167> (visité le 19/10/2023).
- [7] Geoffrey VAN MOESEKE. « Slowheat@LOCI ». fr. In : (2022). Number : UCL - Université Catholique de Louvain. URL : <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:262494> (visité le 19/10/2023).
- [8] Geoffrey VAN MOESEKE. « SLOWHEAT@LOCI-LAB ». fr. In : (2023). Number : UCL - Université Catholique de Louvain. URL : <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:275611> (visité le 19/10/2023).
- [9] *Blog Slowheat*. fr. URL : <https://www.slowheat.org/agir> (visité le 31/10/2023).
- [10] « Slowbook ». In : (). URL : <https://www.slowbook.be/> (visité le 31/10/2023).
- [11] *Plan transition*. UCLouvain. URL : <https://uclouvain.be/fr/decouvrir/universite-transition/plan-transition.html> (visité le 10/05/2024).
- [12] Fatma S. HAFEZ et al. « Energy Efficiency in Sustainable Buildings : A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research ». In : *Energy Strategy Reviews* 45 (jan. 2023), p. 101013. ISSN : 2211-467X. DOI : 10.1016/j.esr.2022.101013. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X22002073> (visité le 26/10/2023).
- [13] Shan HU et al. « A systematic review of occupant behavior in building energy policy ». In : *Building and Environment* 175 (mai 2020), p. 106807. ISSN : 0360-1323. DOI : 10.1016/j.buildenv.2020.106807. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320301657> (visité le 26/10/2023).
- [14] Cristina CARPINO et al. « Behavioral variables and occupancy patterns in the design and modeling of Nearly Zero Energy Buildings ». en. In : *Building Simulation* 10.6 (déc. 2017), p. 875-888. ISSN : 1996-8744. DOI : 10.1007/s12273-017-0371-2. URL : <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0371-2> (visité le 26/10/2023).

- [15] Nicola LABANCA et al. « Energy efficiency services for residential buildings : market situation and existing potentials in the European Union ». In : *Journal of Cleaner Production*. Special Issue : Toward a Regenerative Sustainability Paradigm for the Built Environment : from vision to reality 109 (16 déc. 2015), p. 284-295. ISSN : 0959-6526. DOI : 10.1016/j.jclepro.2015.02.077. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002036> (visité le 10/02/2024).
- [16] Tianzhen HONG et al. « Ten questions concerning occupant behavior in buildings : The big picture ». In : *Building and Environment* 114 (mars 2017), p. 518-530. ISSN : 0360-1323. DOI : 10.1016/j.buildenv.2016.12.006. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316304851> (visité le 26/10/2023).
- [17] Shady ATTIA. « Spatial and Behavioral Thermal Adaptation in Net Zero Energy Buildings : An Exploratory Investigation ». en. In : *Sustainability* 12.19 (jan. 2020). Number : 19 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 7961. ISSN : 2071-1050. DOI : 10.3390/su12197961. URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/7961> (visité le 26/10/2023).
- [18] Aurélie LENOIR, Shaan CORY et Michael Donn and François GARDE. « Users' behavior and energy performances of net zero energy buildings ». en. In : (juin 2011). Last Modified : 2014-06-27T11:42+02:00. URL : <https://www.aivc.org/resource/users-behavior-and-energy-performances-net-zero-energy-buildings> (visité le 26/10/2023).
- [19] Steve SORRELL et John DIMITROPOULOS. « The rebound effect : Microeconomic definitions, limitations and extensions ». In : *Ecological Economics* 65.3 (avr. 2008), p. 636-649. ISSN : 0921-8009. DOI : 10.1016/j.ecolecon.2007.08.013. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907004405> (visité le 26/10/2023).
- [20] Horace HERRING. « Energy efficiency—a critical view ». In : *Energy*. The Second Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies" 31.1 (1^{er} jan. 2006), p. 10-20. ISSN : 0360-5442. DOI : 10.1016/j.energy.2004.04.055. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204002427> (visité le 10/02/2024).
- [21] Hugo HENS, Wout PARIJS et Mieke DEURINCK. « Energy consumption for heating and rebound effects ». In : *Energy and Buildings*. International Conference on Building Energy and Environment (COBEE 2008) 42.1 (1^{er} jan. 2010), p. 105-110. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2009.07.017. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880900142X> (visité le 10/02/2024).
- [22] M. Y. C. VAN HOVE et al. « Large-scale statistical analysis and modelling of real and regulatory total energy use in existing single-family houses in Flanders ». In : *Building Research & Information* 51.2 (17 fév. 2023). Publisher : Routledge _eprint : <https://doi.org/10.1080/09613218.2022.2113023>, p. 203-222. ISSN : 0961-3218. DOI : 10.1080/09613218.2022.2113023. URL : <https://doi.org/10.1080/09613218.2022.2113023> (visité le 31/05/2024).
- [23] Louis DAUMAS. « L'effet-rebond condamne-t-il la transition à l'échec ? » fr. In : *Regards croisés sur l'économie* 26.1 (2020). Place : Paris Publisher : La Découverte, p. 189-197. ISSN : 1956-7413. DOI : 10.3917/rce.026.0189. URL : <https://www.cairn.info/revue-regards-croises-sur-l-economie-2020-1-page-189.htm> (visité le 26/10/2023).
- [24] 21/03/2023 : *Plan Air Climat Énergie 2030*. fr. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/21-03-2023-plan-air-climat-energie-2030.html?IDC=8187&IDD=168395> (visité le 26/10/2023).
- [25] *SW - Révolution et PEB avec Julien Simon (Cabinet du Ministre Alain Maron)*. fr. URL : <https://www.slowheat.org/post/sw-r%C3%A9volution-et-peb-avec-julien-simon-cabinet-du-ministre-alain-maron> (visité le 26/10/2023).
- [26] *Article R241-26 - Code de l'énergie - Légifrance*. URL : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000031748167/ (visité le 31/05/2024).
- [27] « « Se chauffer à 19 °C » : d'où vient la recommandation gouvernementale en pleine crise énergétique ? » In : *Le Monde.fr* (5 oct. 2022). URL : https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/10/05/se-chauffer-a-19-degres-d-ou-vient-la-recommandation-gouvernementale-pour-faire-face-a-la-crise-energetique_6144437_3244.html (visité le 31/05/2024).
- [28] *Chauffage à 19°C : obligation, recommandation, que dit la loi ?* Le Figaro. Section : Maison. 18 déc. 2023. URL : <https://www.lefigaro.fr/maison/chauffage-a-19c-obligation-recommandation-que-dit-la-loi-20231218> (visité le 31/05/2024).

- [29] Marine BOURRIER. *Le chauffage à 19°C, une obligation légale depuis 1974*. Libération. Section : Climat. URL : https://www.liberation.fr/environnement/climat/le-chauffage-a-19c-une-obligation-legale-depuis-longtemps-20221007_CT5U4ET6DZAK7JME3LEAHLRZDM/ (visité le 31/05/2024).
- [30] *Guide de la rénovation énergétique et durable des logements en Wallonie*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie.html?IDC=8661&IDD=114342> (visité le 17/05/2024).
- [31] Marlyne SAHAKIAN et al. « Challenging social norms to recraft practices : A Living Lab approach to reducing household energy use in eight European countries ». In : *Energy Research & Social Science* 72 (fév. 2021), p. 101881. ISSN : 2214-6296. DOI : 10.1016/j.erss.2020.101881. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620304564> (visité le 27/10/2023).
- [32] Yan ZHANG et al. « Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance : A review ». In : *Energy and Buildings* 172 (août 2018), p. 279-294. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2018.05.017. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818307576> (visité le 26/10/2023).
- [33] *From “if only” to “social potential” in schemes to reduce building energy use - ScienceDirect*. URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629614000280?casa_token=z_2KzRyA6FcAAAAA:WgjvvhZ0AaM09L9GYUYDqKv5ok8o68UtTAS3cvc5fj807SP5B6UYbBGfL70cl5hzyY9msRS6gZno (visité le 26/10/2023).
- [34] « Buildings ». en. In : *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*. Sous la dir. d'INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 1^{re} éd. Cambridge University Press, août 2023, p. 953-1048. ISBN : 978-1-00-915792-6. DOI : 10.1017/9781009157926.011. URL : https://www.cambridge.org/core/product/identifiant/9781009157926%23c9/type/book_part (visité le 26/10/2023).
- [35] *Chapter 10 : Energy End-Use - Buildings - Chapter 10 - IIASA*. URL : <https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Chapte10.en.html> (visité le 27/10/2023).
- [36] *Introduction / IEA-EBC Annex 66*. URL : <https://annex66.iea-ebc.org/> (visité le 26/10/2023).
- [37] Tianzhen HONG et al. « Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings ». In : *Energy and Buildings* 116 (mars 2016), p. 694-702. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2015.11.052. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815005307> (visité le 26/10/2023).
- [38] Jia DU et Wei PAN. « Examining energy saving behaviors in student dormitories using an expanded theory of planned behavior ». In : *Habitat International* 107 (jan. 2021), p. 102308. ISSN : 0197-3975. DOI : 10.1016/j.habitatint.2020.102308. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397520314326> (visité le 02/11/2023).
- [39] Edina VADOVICS et Lidija ŽIVČIČ. « Energy sufficiency : are we ready for it? An analysis of sustainable energy initiatives and citizen visions ». en. In : ().
- [40] Senja LAAKSO et al. « Towards sustainable energy consumption : Challenging heating-related practices in Denmark, Finland, and Hungary ». In : *Journal of Cleaner Production* 308 (juill. 2021), p. 127220. ISSN : 0959-6526. DOI : 10.1016/j.jclepro.2021.127220. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621014396> (visité le 28/10/2023).
- [41] *The Potential of Behavioural Interventions for Optimising Energy Use at Home – Analysis*. en-GB. URL : <https://www.iea.org/articles/the-potential-of-behavioural-interventions-for-optimising-energy-use-at-home> (visité le 27/10/2023).
- [42] « Un hiver tout confort ». fr. In : (). URL : <https://librairie.ademe.fr/ged/6568/guide-hiver-tout-confort.pdf>.
- [43] *Quelques astuces pour économiser l'énergie*. ADEME Infos. URL : <https://infos.ademe.fr/magazine-octobre-2022/faits-et-chiffres/quelques-astuces-pour-economiser-lenergie/> (visité le 28/05/2024).
- [44] *Baisser la température de consigne du chauffage*. fr. URL : <https://expertises.ademe.fr/entreprises-monde-agricole/performance-energetique-energies-renouvelables/comment-ameliorer-performance-energetique-lindustrie/preconisation-35> (visité le 27/10/2023).
- [45] Denis DE GRAVE, Amélie ANCIAUX et Geoffrey VAN MOESEKE. « SLOWHEAT : pratique(s) empirique(s) ». fr. In : (2022). Number : UCL - Université Catholique de Louvain. URL : <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:267169> (visité le 19/10/2023).

- [46] OLIVIER JANDOT. *SlowWeek - Quand le "slowheating" était la norme ; Prof. Olivier Jandot (Université d'Artois)*. Oct. 2023. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=CUheS7E1CVs> (visité le 31/10/2023).
- [47] *Confort [Calculs]*. fr-FR. Sept. 2023. URL : <https://energieplus-lesite.be/calculs/confort-calculs/> (visité le 31/10/2023).
- [48] Saroj BHATTARAI. « Residential Energy Report Card for University Students for Driving Behavioral Energy Reduction and for Measuring Behavior Impact on Consumption ». en. Thèse de doct. University of Dayton, 2018. URL : https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=dayton1524504087444659 (visité le 02/11/2023).
- [49] Kaveh KARIMI ASLI. *Strategies for promoting sustainable behavior regarding electricity consumption in student residential buildings in the city of Linköping*. eng. 2011. URL : <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-73567> (visité le 02/11/2023).
- [50] *Student Energy Race*. fr. URL : <https://www.studentenvoormorgen.nl/student-energy-race/> (visité le 01/11/2023).
- [51] Fatou DIOP SALL. « Chapitre 8. La méthode ethnographique ». In : *Les méthodes de recherche du DBA*. Business Science Institute. Caen : EMS Editions, 2018, p. 140-157. ISBN : 978-2-37687-179-8. DOI : 10.3917/ems.cheva.2018.01.0140. URL : <https://www.cairn.info/les-methodes-de-recherche-du-dba--9782376871798-p-140.htm> (visité le 24/03/2024).
- [52] *Members of the ENERGISE consortium / Energise Project*. URL : <https://energise-project.eu/> (visité le 27/10/2023).
- [53] *ResearchGate*. URL : https://www.researchgate.net/publication/312297837_Reallabore_im_Kontext_transdisziplinrer_Forschung/link/5892effda6fdcc1b4146d54b/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19 (visité le 16/05/2024).
- [54] Eva HEISKANEN et al. « Designing Real-World Laboratories for the Reduction of Residential Energy Use : Articulating Theories of Change ». In : *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 27.1 (jan. 2018), p. 60-67. DOI : 10.14512/gaia.27.S1.13.
- [55] Ivar KRUMPAL. « Social Desirability Bias and Context in Sensitive Surveys ». In : *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. Sous la dir. de Filomena MAGGINO. Cham : Springer International Publishing, 2020, p. 1-7. ISBN : 978-3-319-69909-7. DOI : 10.1007/978-3-319-69909-7_4086-2. URL : https://doi.org/10.1007/978-3-319-69909-7_4086-2 (visité le 17/05/2024).
- [56] Clotilde CORON. « Outil 11. Le questionnaire : les biais ». In : *La Boîte à outils de l'analyse de données en entreprise*. BâO La Boîte à Outils. Paris : Dunod, 2020, p. 38-41. ISBN : 978-2-10-080855-7. URL : <https://www.cairn.info/la-boite-a-outils-de-l-analyse-de-donnees--9782100808557-p-38.htm> (visité le 17/05/2024).
- [57] Leila NIKDEL et al. « Data-driven Occupancy Profiles for Apartment-style Student Housing ». In : *Energy and Buildings* 246 (sept. 2021), p. 111070. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2021.111070. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821003546> (visité le 02/11/2023).
- [58] Leila NIKDEL et al. « Datasets for occupancy profiles in apartment-style student housing for occupant behavior studies and application in building energy simulation ». In : *Data in Brief* 37 (août 2021), p. 107205. ISSN : 2352-3409. DOI : 10.1016/j.dib.2021.107205. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340921004893> (visité le 02/11/2023).
- [59] SLOWHEAT. *SlowWeek - Parlons humidité dans les maisons froides avec l'ingénieur Antoine Tilmans (Buildwise)*. 26 sept. 2023. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=XOYsoTf16Z0> (visité le 29/03/2024).
- [60] M. J. SORGATO, A. P. MELO et R. LAMBERTS. « The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption ». In : *Energy and Buildings* 133 (1^{er} déc. 2016), p. 1-13. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2016.09.059. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816309574> (visité le 15/04/2024).
- [61] Ghada ELSHAFEI et al. « Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building ». In : *Energy and Buildings* 141 (15 avr. 2017), p. 321-332. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2017.02.055. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817306503> (visité le 15/04/2024).

- [62] M. J. SORGATO, A. P. MELO et R. LAMBERTS. « The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption ». In : *Energy and Buildings* 133 (1^{er} déc. 2016), p. 1-13. ISSN : 0378-7788. DOI : 10.1016/j.enbuild.2016.09.059. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816309574> (visité le 08/04/2024).
- [63] *Norme NBN EN 15251 :2007 : Critères d'ambiance intérieure*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/reglementations/confort44/norme-nbn-en-15251-2007-criteres-d-ambiance-interieure/> (visité le 17/05/2024).
- [64] *Guide PEB 2018*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : https://energie.wallonie.be/fr/09-03-debit-de-fuite-par-unite-de-surface-v-50.html?IDC_PEB=9652&IDD=136670&IDC=9808 (visité le 03/05/2024).
- [65] *L'étanchéité à l'air*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/1-etancheite-a-l-air.html?IDD=97700&IDC=9475> (visité le 18/04/2024).
- [66] *Évaluer l'étanchéité à l'air*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/evaluer/etancheite-a-l-air3/evaluer-1-etancheite-a-l-air/> (visité le 18/04/2024).
- [67] *Degrés-jours - Synergrid*. URL : <https://www.synergrid.be/fr/centre-de-documentation/statistiques-et-donnees/degres-jours> (visité le 18/04/2024).
- [68] *Logano G334 Chauffage de 40 à 130 kW*. doczz.fr. URL : <https://doczz.fr/doc/4592328/logano-g334-chauffage-de-40-%C3%A0-130-kw> (visité le 14/04/2024).
- [69] *Pertes de chaleur des conduites et vannes non isolées*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/donnees/chauffage56/pertes-de-chaleur-des-conduites-et-vannes-non-isolees/> (visité le 16/05/2024).
- [70] *Évaluer l'efficacité énergétique de la distribution de chaleur*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/evaluer/chauffage4/evaluer-efficacite-energetique-circuit-chauffage-central/evaluer-1-efficacite-energetique-de-la-distribution-de-chaleur/> (visité le 16/05/2024).
- [71] *L'eau chaude sanitaire, une gourmande qui s'ignore*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : <https://energie.wallonie.be/fr/1-eau-chaude-sanitaire.html?IDC=8604> (visité le 03/05/2024).
- [72] « La production d'eau chaude sanitaire ». In : (). URL : https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=3829#:~:text=La%20consommation%20d'eau%20chaude,par%20personne%20et%20par%20jour.
- [73] « Le réglage des courbes de chauffe ». In : (). URL : <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/chauffage12/chauffage-central-a-eau-chaude/exemple-de-reglage-d-une-courbe-de-chauffe/>.
- [74] *Slow heat, et performance énergétique des bâtiments dans un climat qui change 75eme minute*. Avec la coll. d'UCLouvain. 19 déc. 2022. URL : <https://www.podcastics.com/podcast/episode/slow-heat-et-performance-energetique-des-batiments-dans-un-climat-qui-change-216572/> (visité le 27/05/2024).
- [75] *Chaudières à condensation [Chauffage]*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/techniques/chauffage10/chauffage-a-eau-chaude/chaudieres-a-condensation/> (visité le 29/05/2024).
- [76] *Tableau comparatif pouvoir calorifique inférieur PCI énergies*. URL : <https://picbleu.fr/les-articles/tableau-comparatif-pouvoir-calorique-inferieur-pci-des-energies> (visité le 29/05/2024).
- [77] *Pouvoir calorifique inférieur (PCI) : signification, calcul, formule*. Selectra. 4 déc. 2019. URL : <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/pouvoir-calorifique-inferieur> (visité le 29/05/2024).
- [78] *Consommation en énergie primaire*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/theories/consommation-energetique/la-consommation-en-energie-primaire/> (visité le 28/05/2024).
- [79] *Bois-énergie : les points clés*. Energie Plus Le Site. URL : <https://energieplus-lesite.be/theories/bois-energie/bois-energie/> (visité le 28/05/2024).
- [80] *Pouvoir calorifique bois chauffage : guide complet, tableau*. 18 fév. 2024. URL : <https://bois-de-chauffage-energie.fr/pouvoir-calorifique-bois-de-chauffage/> (visité le 28/05/2024).

- [81] *Consommation de gaz : êtes-vous dans la moyenne belge ?* ENGIE. Section : heating. 15 mars 2024. URL : <https://www.engie.be/fr/blog/chauffage/chauffage-gaz-comparez-voisin/> (visité le 01/06/2024).
- [82] *eCO2grid / 50Hertz*. URL : <https://eco2grid.50hertz.com/zone/BE> (visité le 10/05/2024).
- [83] *Consommation d'électricité : êtes-vous dans la moyenne belge ?* ENGIE. Section : savings. 30 avr. 2019. URL : <https://www.engie.be/fr/blog/conseils-energie/consommation-electricite-moyenne-belge/> (visité le 29/05/2024).
- [84] *Guide PEB 2015*. Site énergie du Service public de Wallonie. URL : https://energie.wallonie.be/fr/04-04-valeurs-umax-rmin.html?IDC_PEB=9491&IDD=113532&IDC=9091 (visité le 08/05/2024).
- [85] *Quel est l'enjeu ?* Slowheat. URL : <https://www.slowheat.org/post/quel-est-l-enjeu> (visité le 31/05/2024).
- [86] Marion MAUGER. « La communication environnementale, enjeux, acteurs et stratégies. Kane Oumar, Paris, L'Harmattan, 2016, 138 p. » In : *Communication & langages* 193.3 (2017). Place : Paris Publisher : NecPlus, p. 147-149. ISSN : 0336-1500. DOI : 10.4074/S0336150017013138. URL : <https://www.cairn.info/revue-communication-et-langages1-2017-3-page-147.htm> (visité le 02/06/2024).
- [87] Déborah PHILIPPE et Rodolphe DURAND. « Communication environnementale et réputation de l'organisation ». In : *Revue française de gestion* 194.4 (2009). Place : Cachan Publisher : Lavoisier, p. 45-63. ISSN : 0338-4551. URL : <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2009-4-page-45.htm> (visité le 02/06/2024).

Annexe A

Profils étudiants

Profil étudiant du KMI par défaut

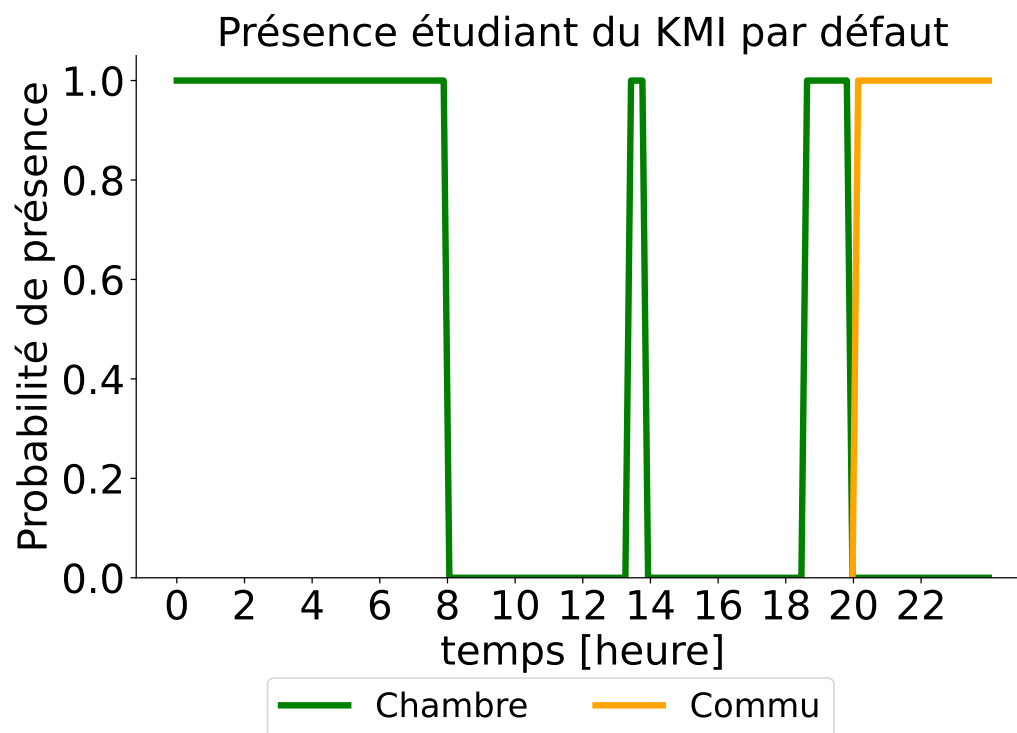


FIGURE A.1 – Présence d'un étudiant du KMI par défaut

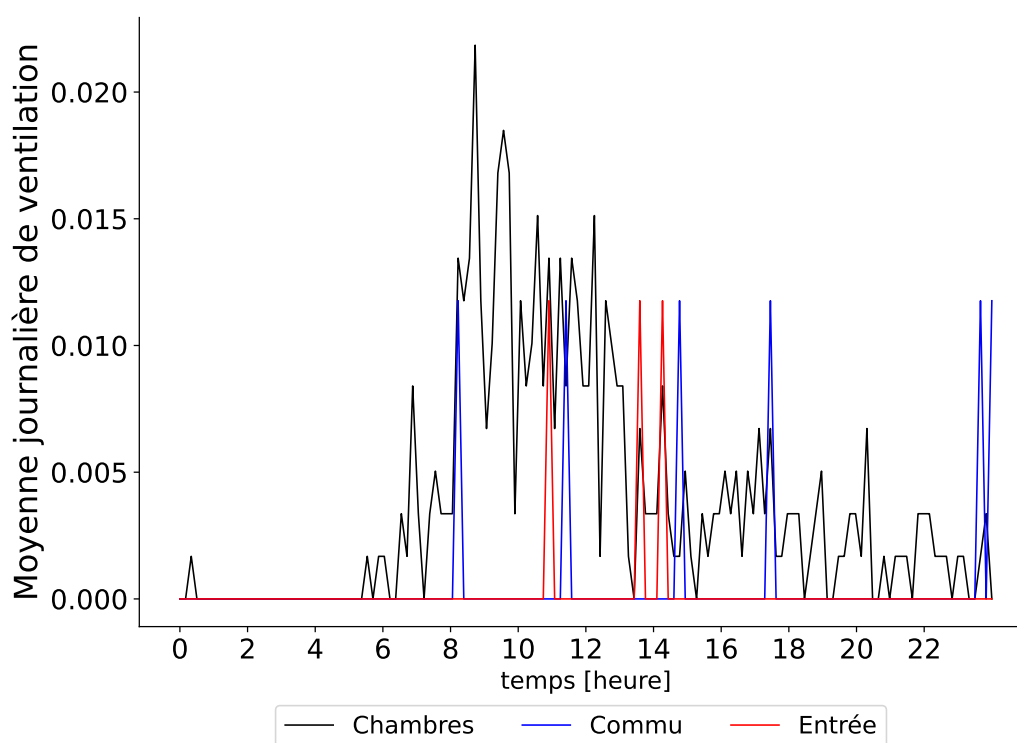


FIGURE A.2 – Ventilation du KMI par défaut

Profil 1.1

TABLE A.1 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	17.01 [°C]	15.99 [°C]	15.95 [°C]	16.82 [°C]	17.35 [°C]	15.91 [°C]

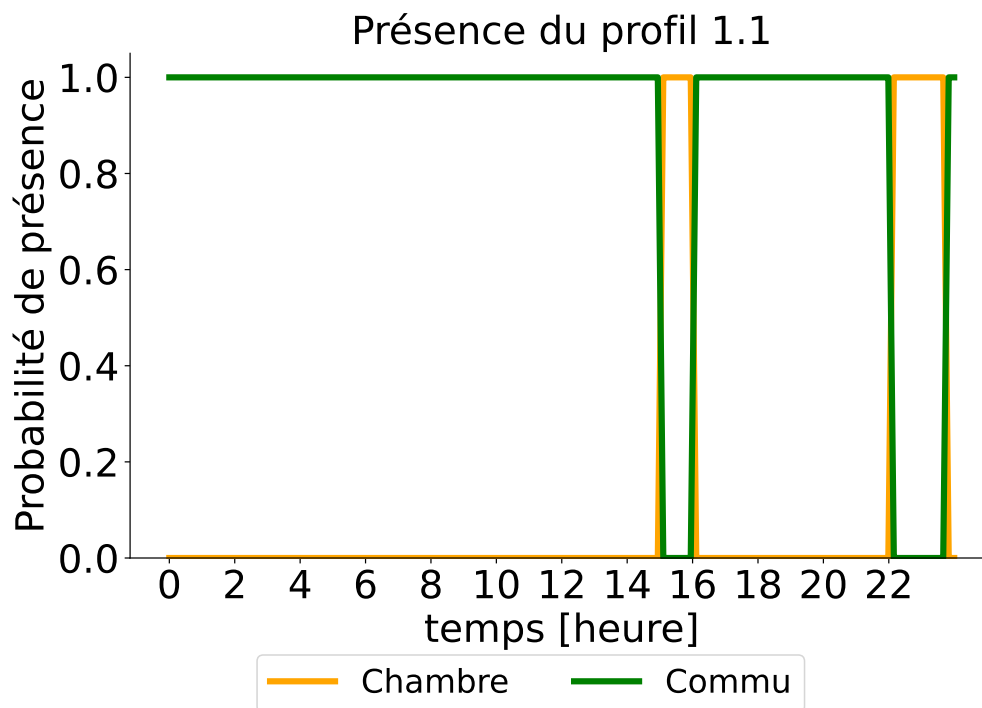


FIGURE A.3 – Présence du profil 1.1

Profil 1.2

TABLE A.2 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	17.01 [°C]	15.99 [°C]	15.95 [°C]	16.82 [°C]	17.35 [°C]	15.91 [°C]

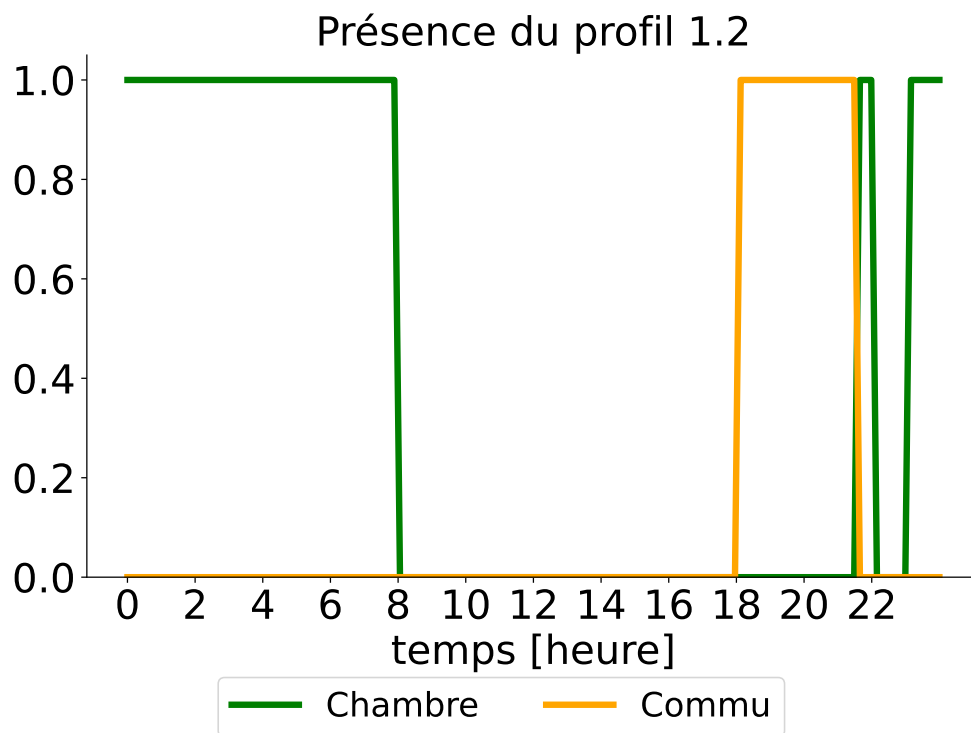


FIGURE A.4 – Présence du profil 1.2

Profil 2.1

TABLE A.3 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	17.27 [°C]	15.05 [°C]	14.15 [°C]	15.68 [°C]	17.33 [°C]	14.66 [°C]

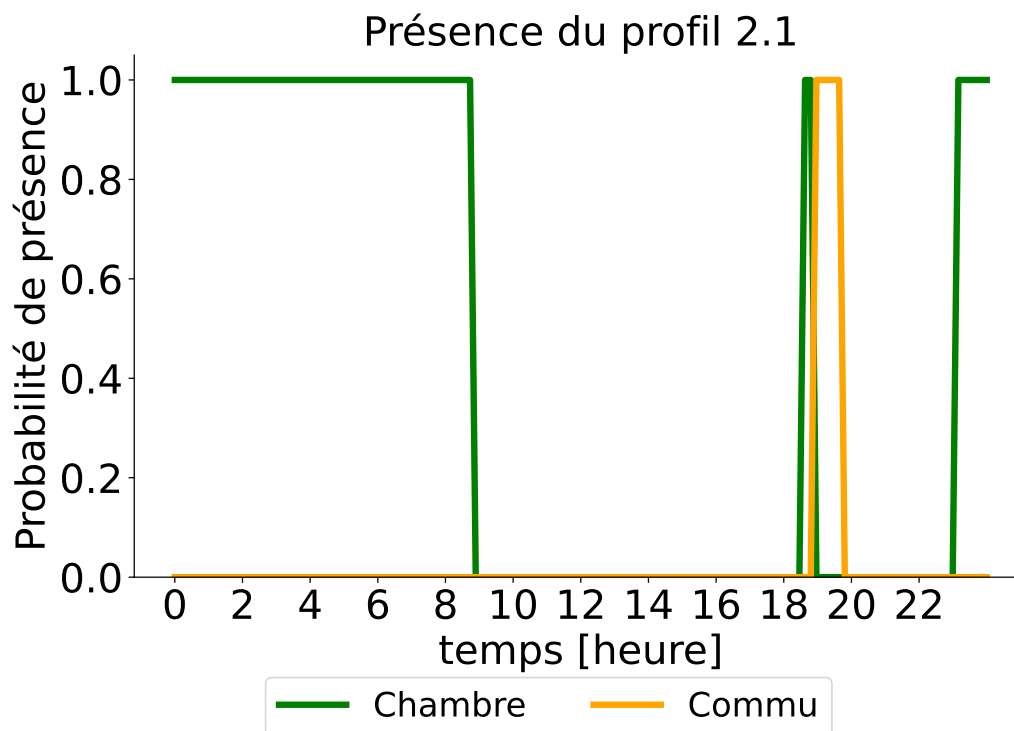


FIGURE A.5 – Présence du profil 2.1

Profil 2.2

TABLE A.4 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	17.27 [°C]	15.05 [°C]	14.15 [°C]	15.68 [°C]	17.33 [°C]	14.66 [°C]

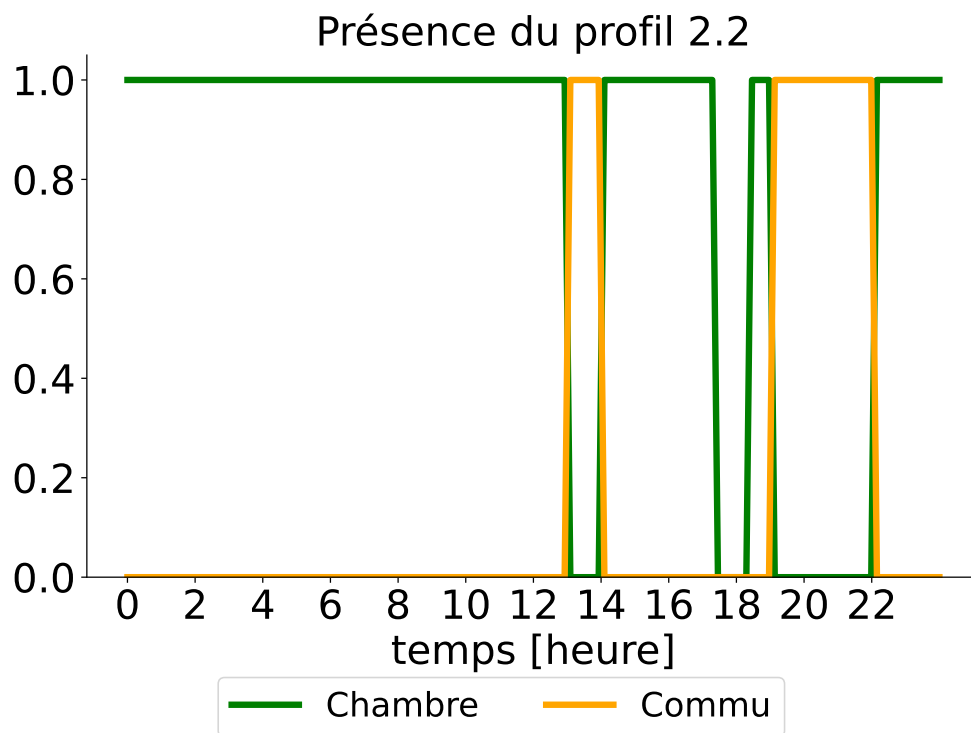


FIGURE A.6 – Présence du profil 2.2

Profil 3

TABLE A.5 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	17.23 [°C]	14.92 [°C]	15.07 [°C]	14.97 [°C]	15.65 [°C]	13.54 [°C]

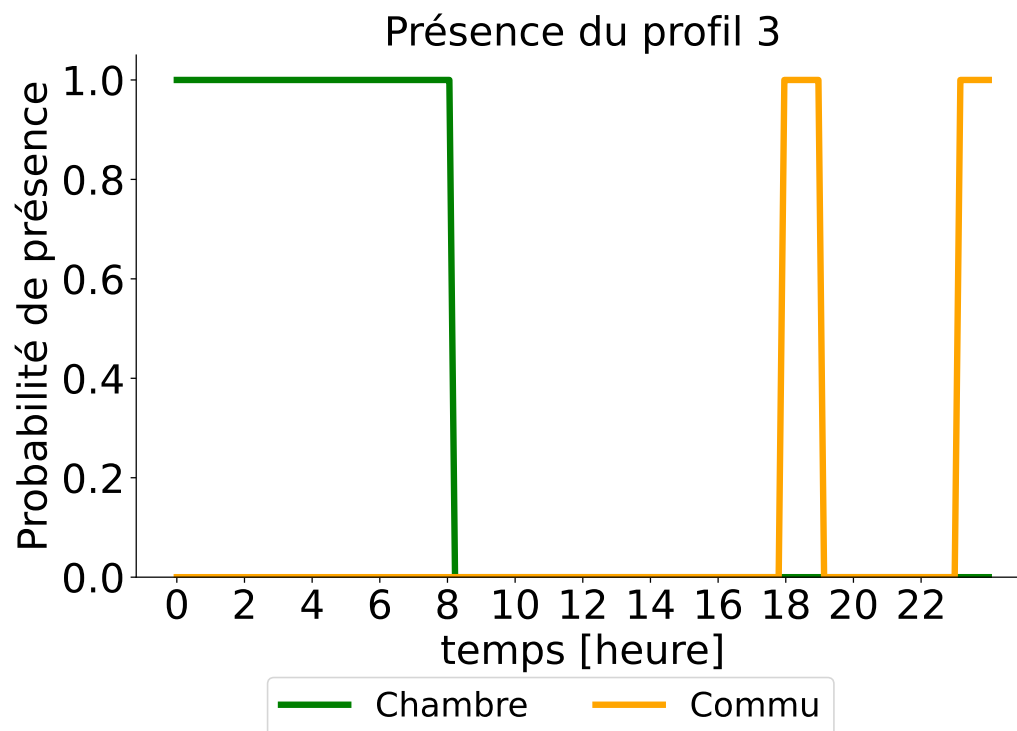


FIGURE A.7 – Présence du profil 3

Profil 4.A

TABLE A.6 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	16.73 [°C]	14.58 [°C]	13.62 [°C]	/	/	13.92 [°C]

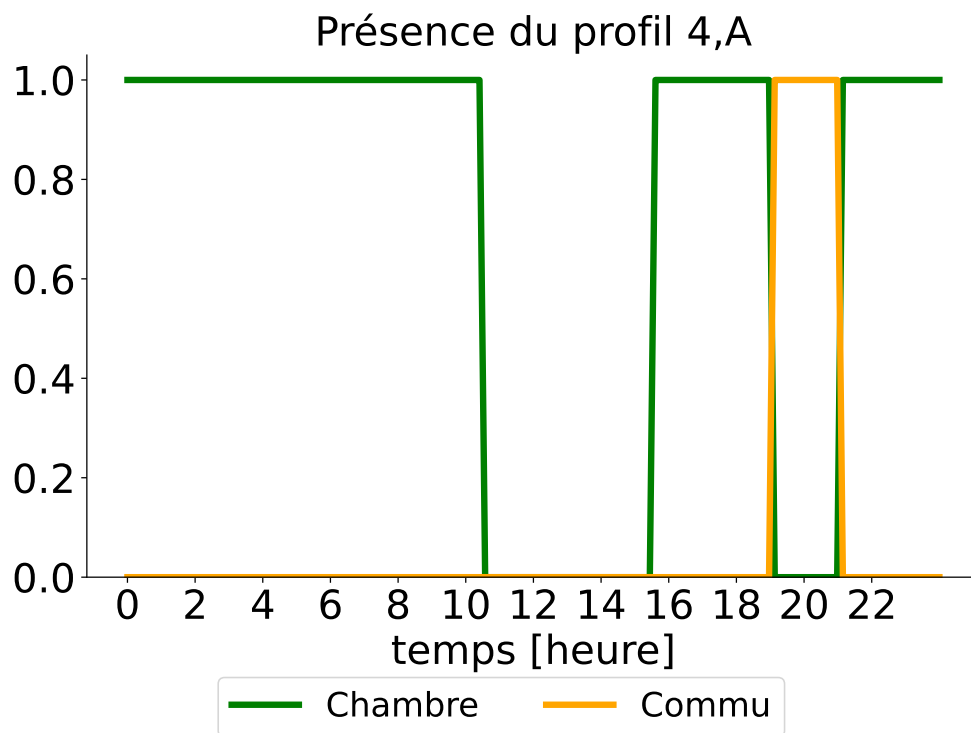


FIGURE A.8 – Présence du profil 4.A

Profil 4.B

TABLE A.7 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	/	/	/	16.26 [°C]	16.75 [°C]	/[°C]

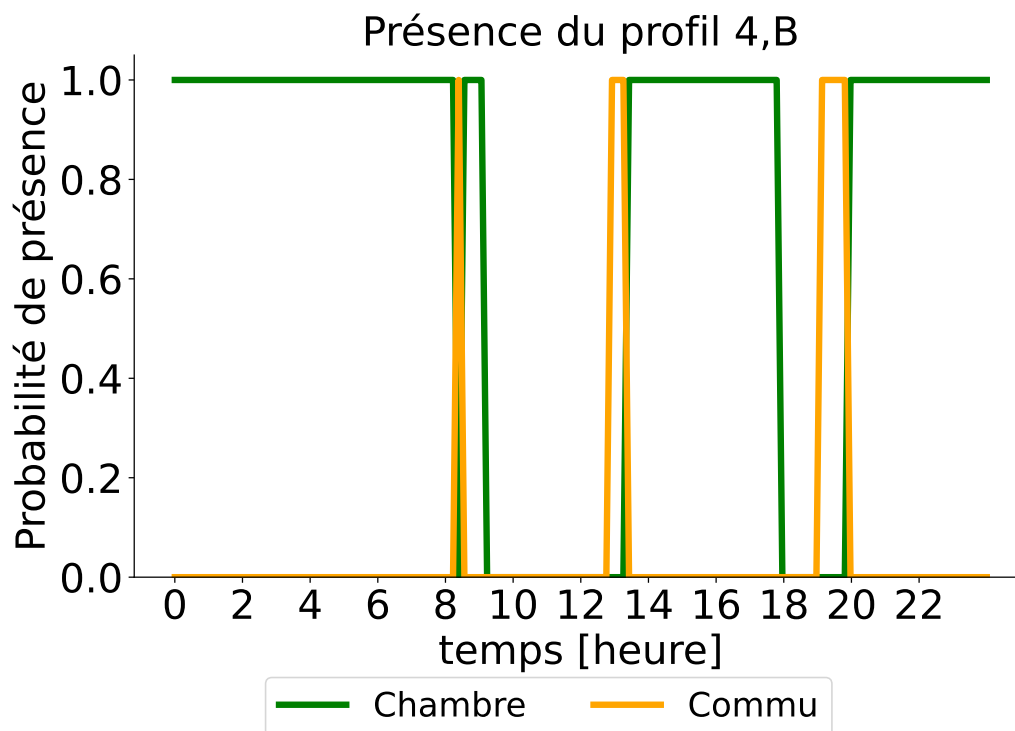


FIGURE A.9 – Présence du profil 4.B

Profil 5

TABLE A.8 – Température choisie par le profil 1.1

	Phase de test	Phase 1	Phase Blocus Examen	Phase 2	Phase 3	Les 2 mois plus froids
Température moyenne intérieure	16.39 [°C]	13.93 [°C]	13.49 [°C]	14.99 [°C]	17.45 [°C]	14.96 [°C]

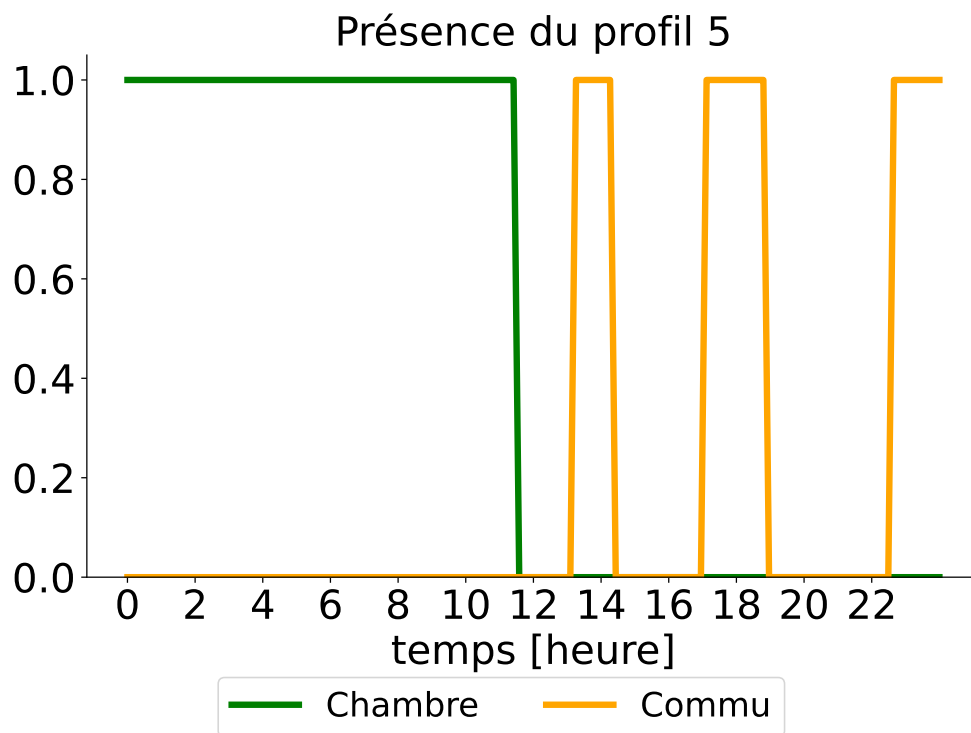


FIGURE A.10 – Présence du profil 5

Annexe B

EDP réalisées durant l'expérience

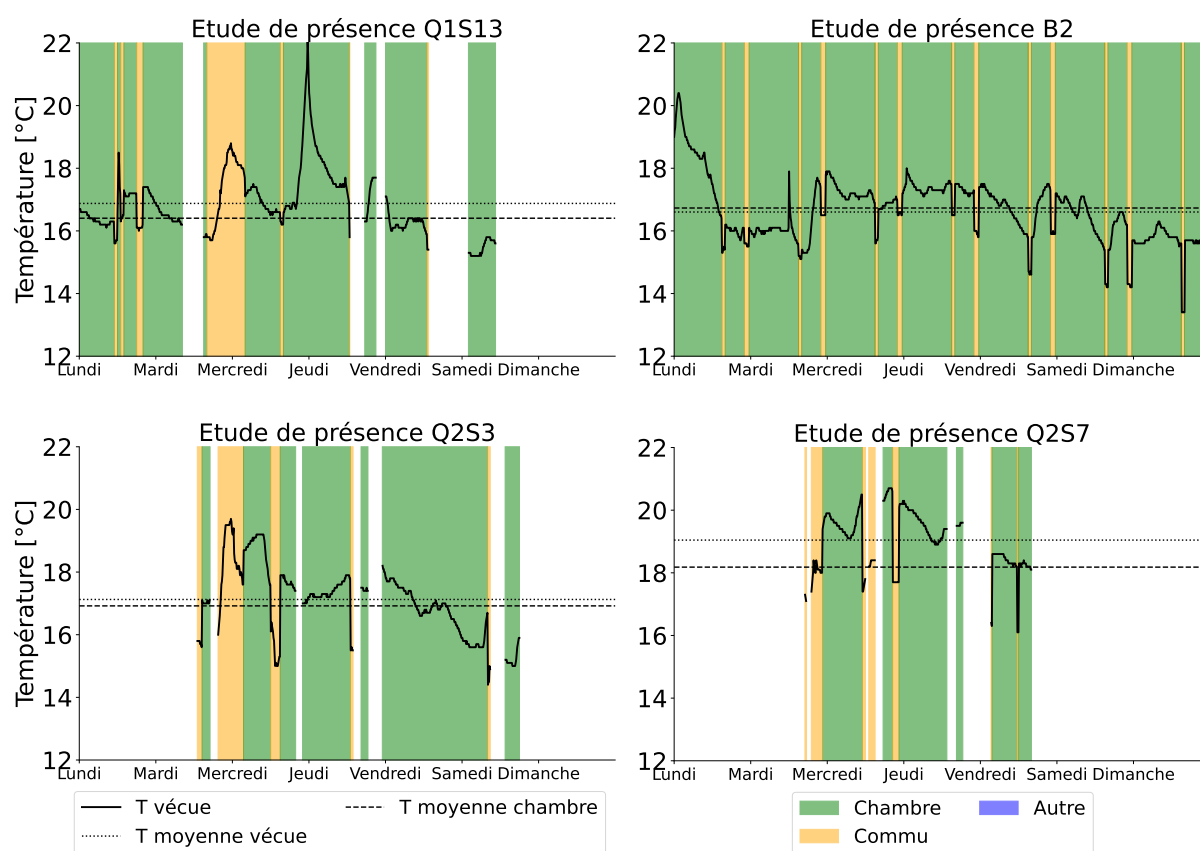


FIGURE B.1 – EDP de l'individu 1.1

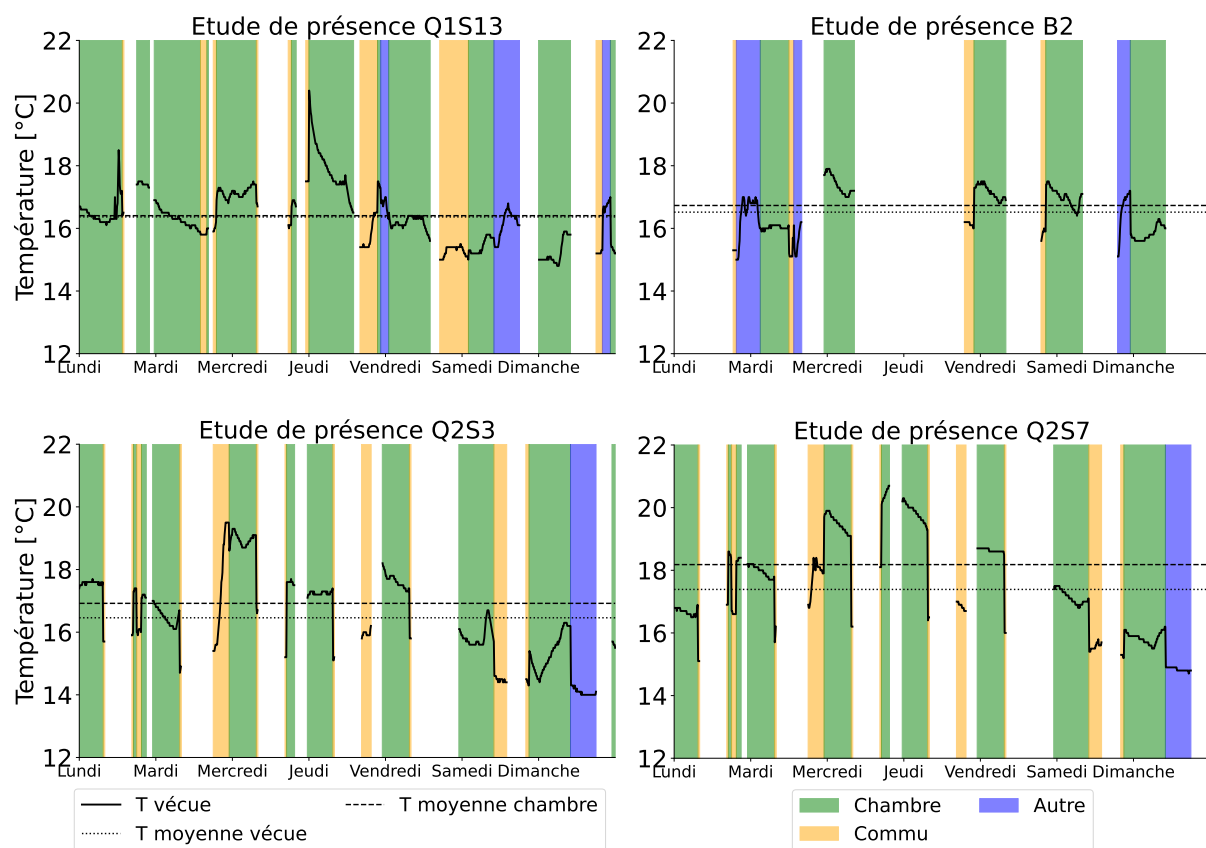


FIGURE B.2 – EDP de l'individu 1.2

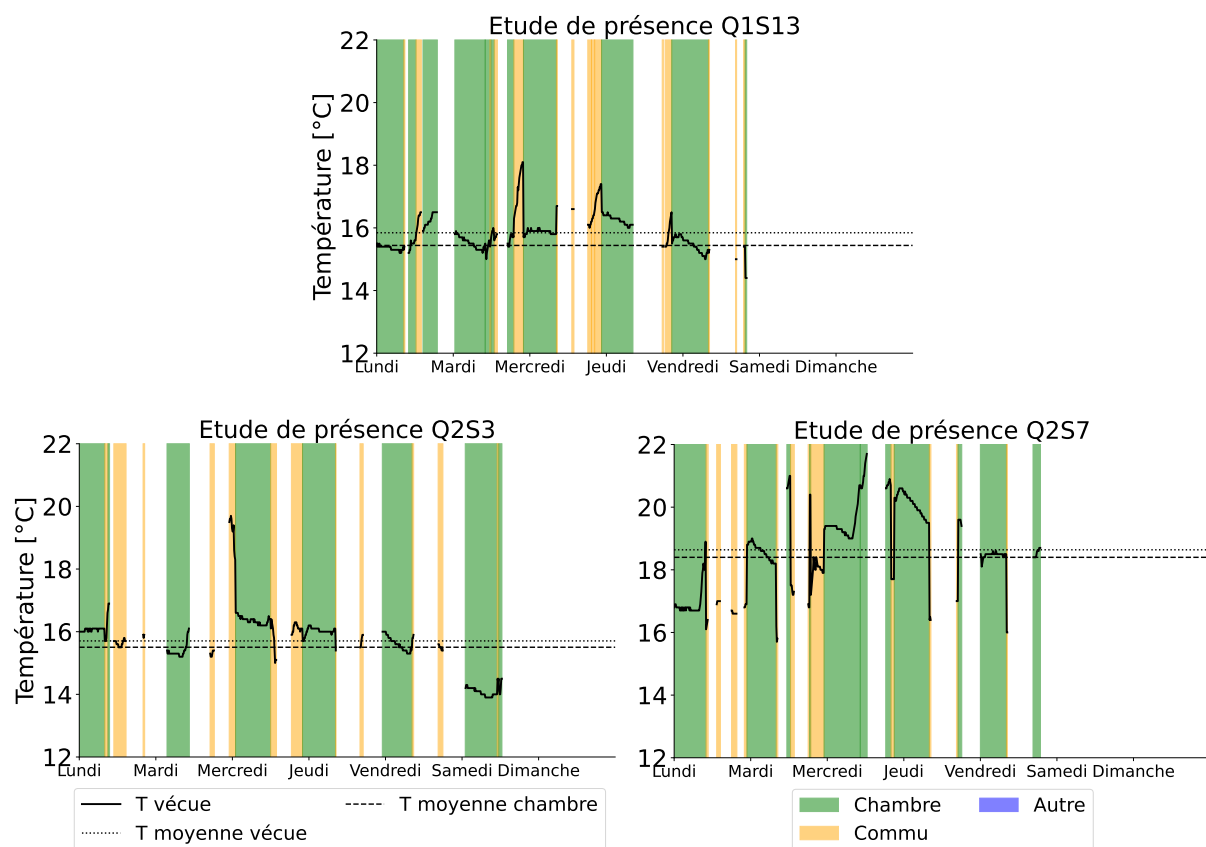


FIGURE B.3 – EDP de l'individu 2.1

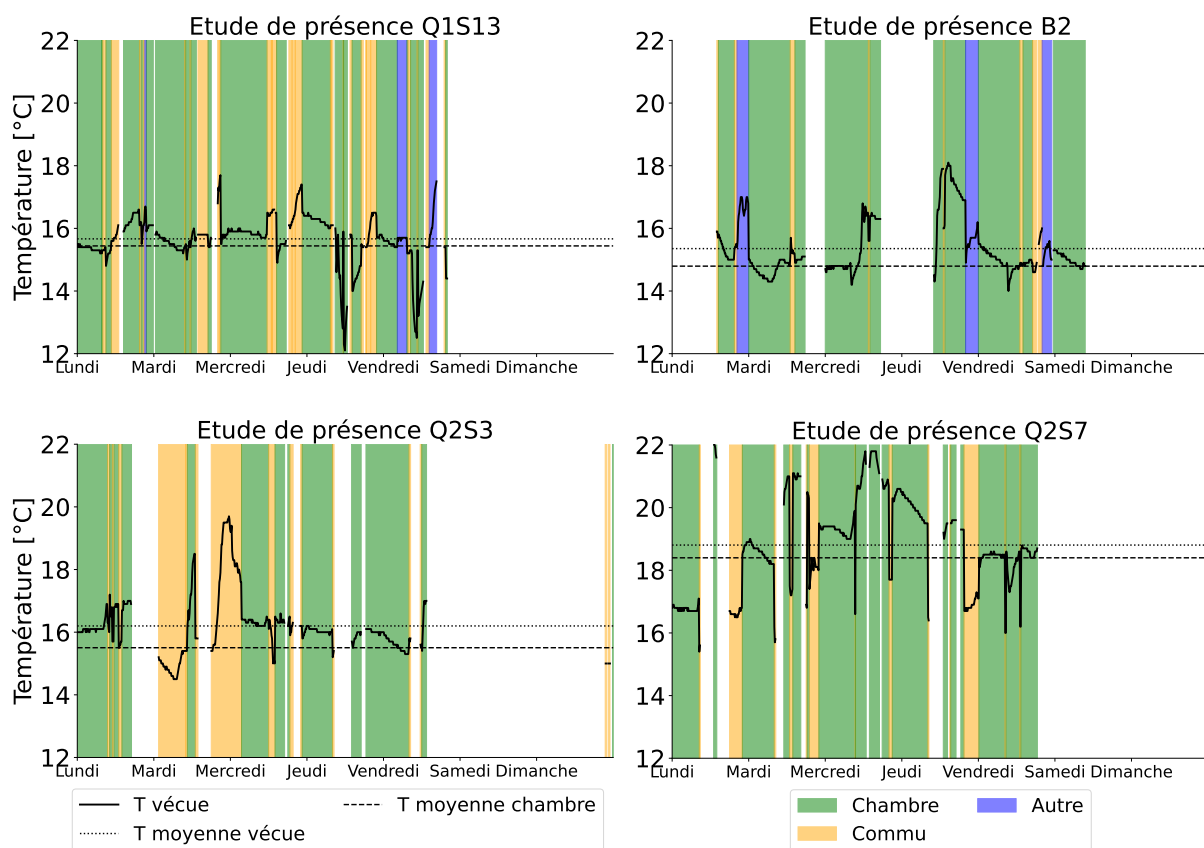


FIGURE B.4 – EDP de l'individu 2.2

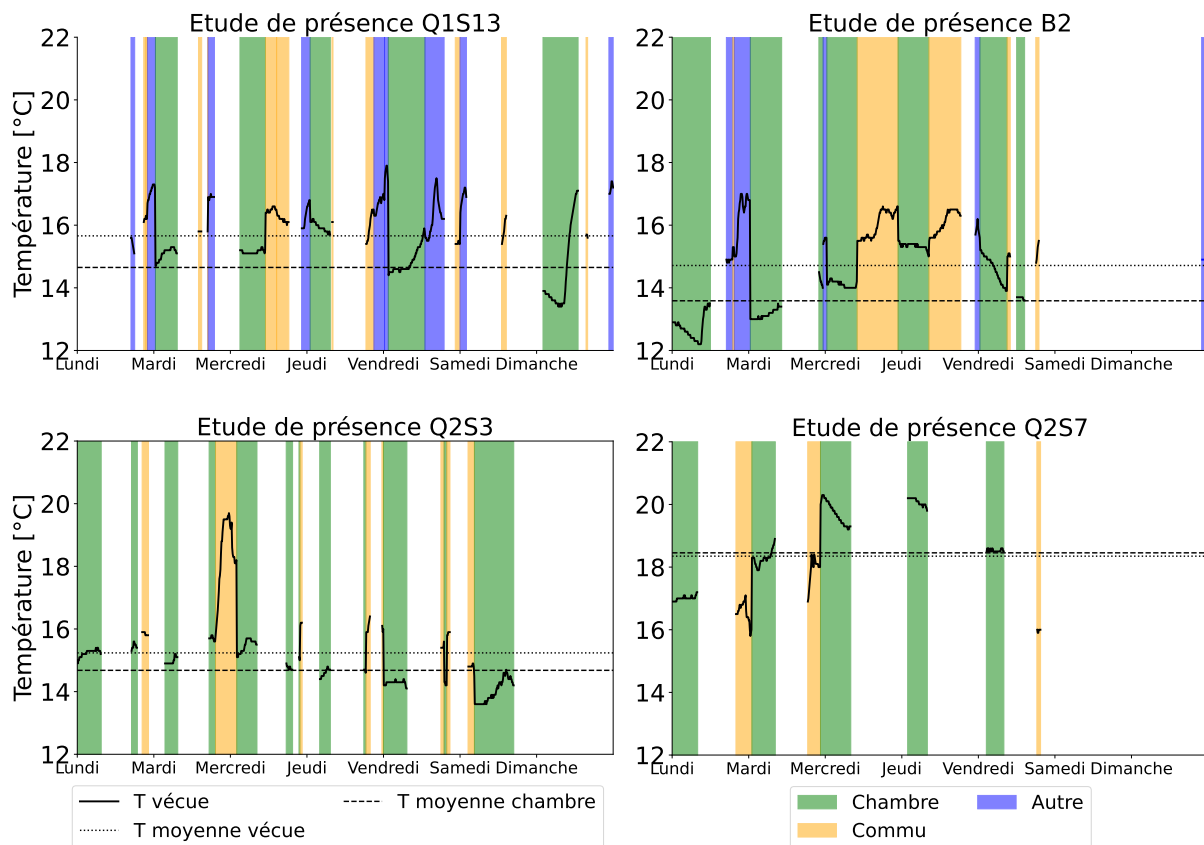


FIGURE B.5 – EDP de l'individu 3

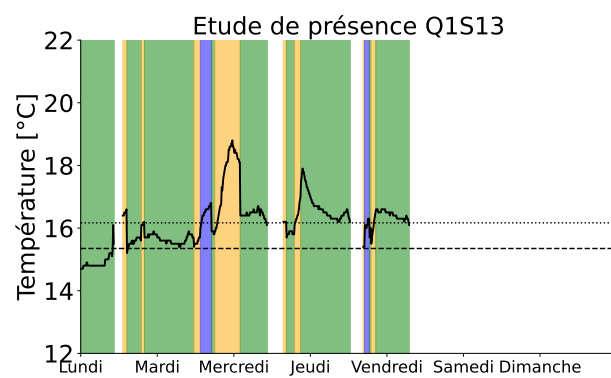


FIGURE B.6 – EDP de l'individu 4.A

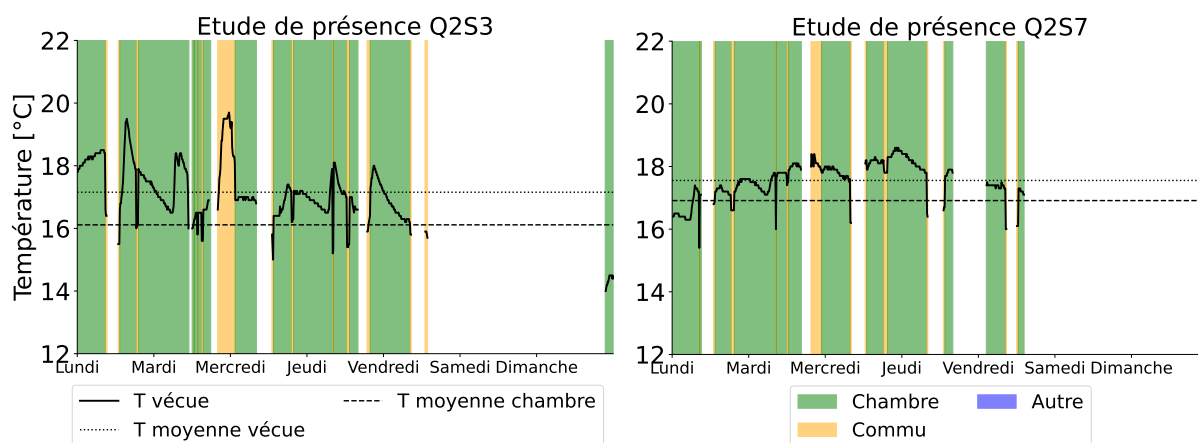


FIGURE B.7 – EDP de l'individu 4.B

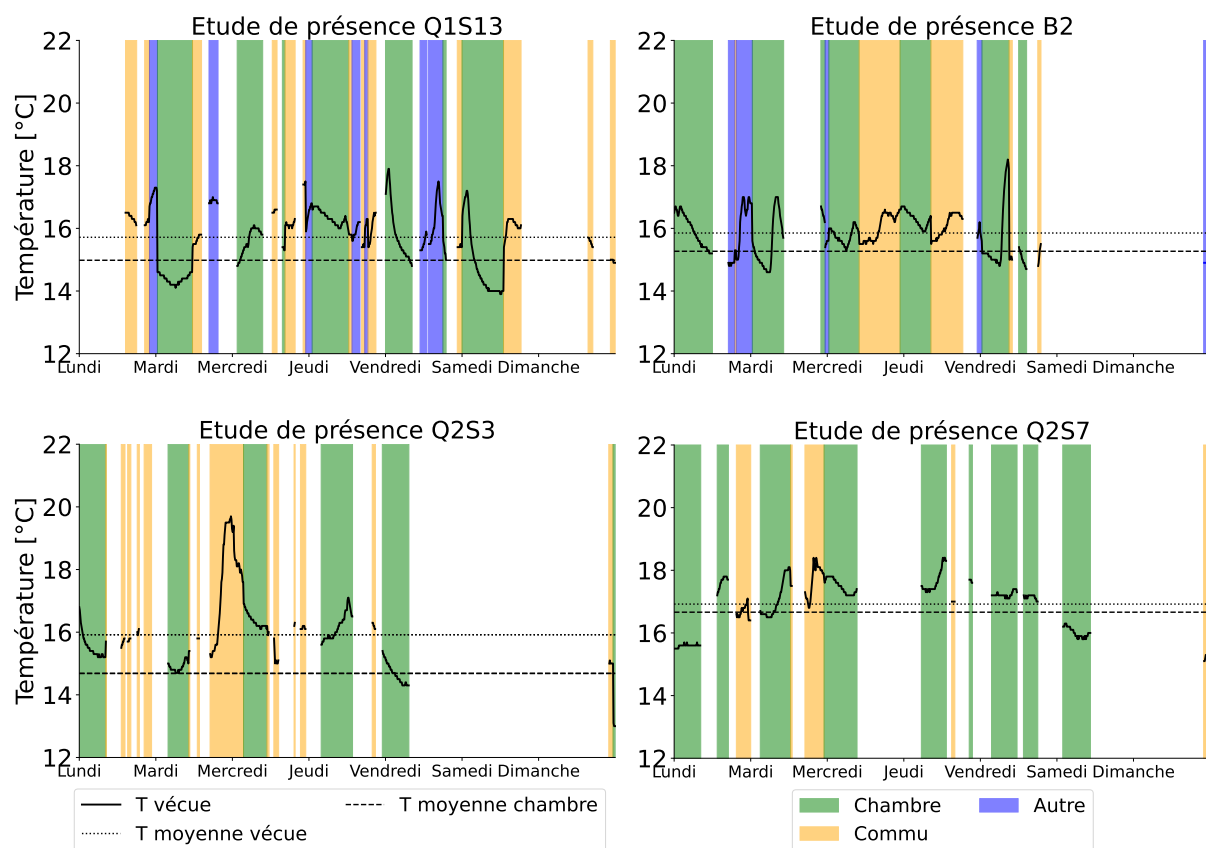


FIGURE B.8 – EDP de l'individu 5

Annexe C

Plan du KMI



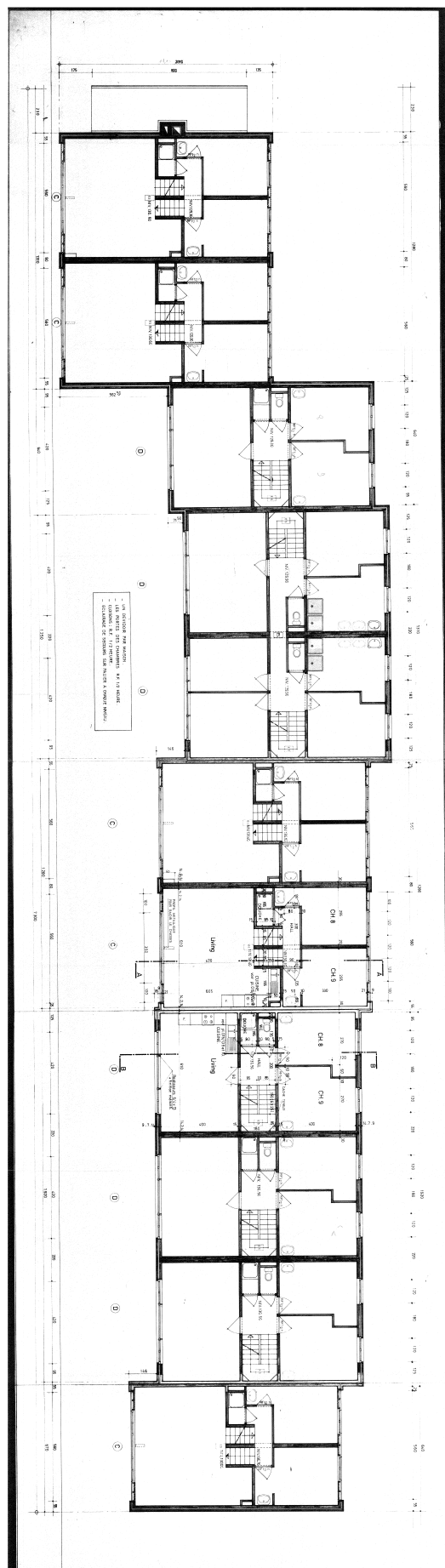


FIGURE C.3 – Plan 2^{ème} étage KMI

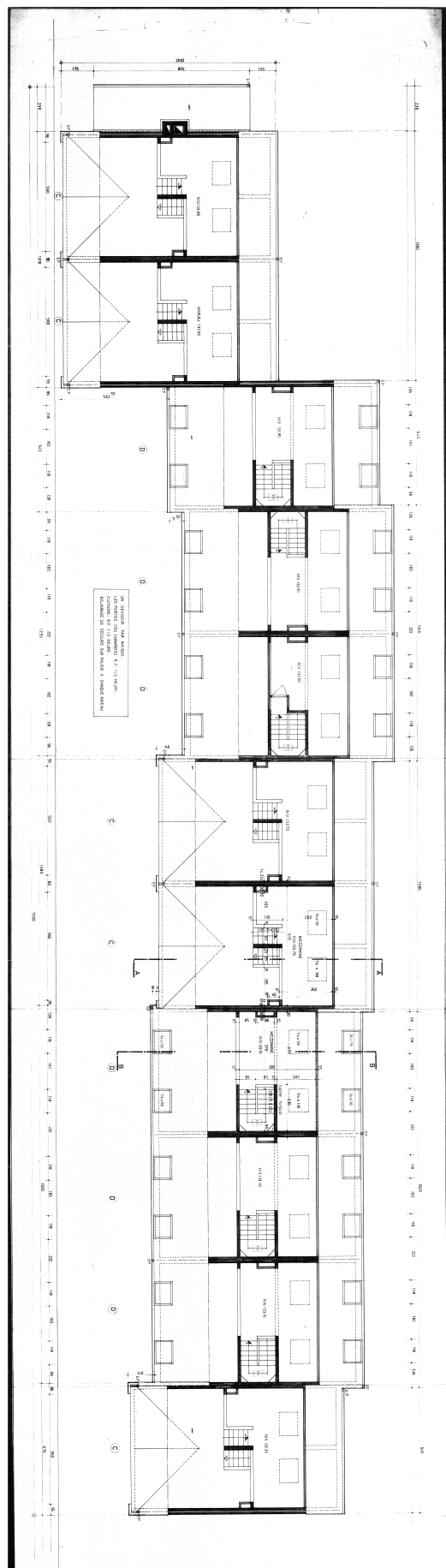


FIGURE C.4 – Plan 3^{eme} étage KMI

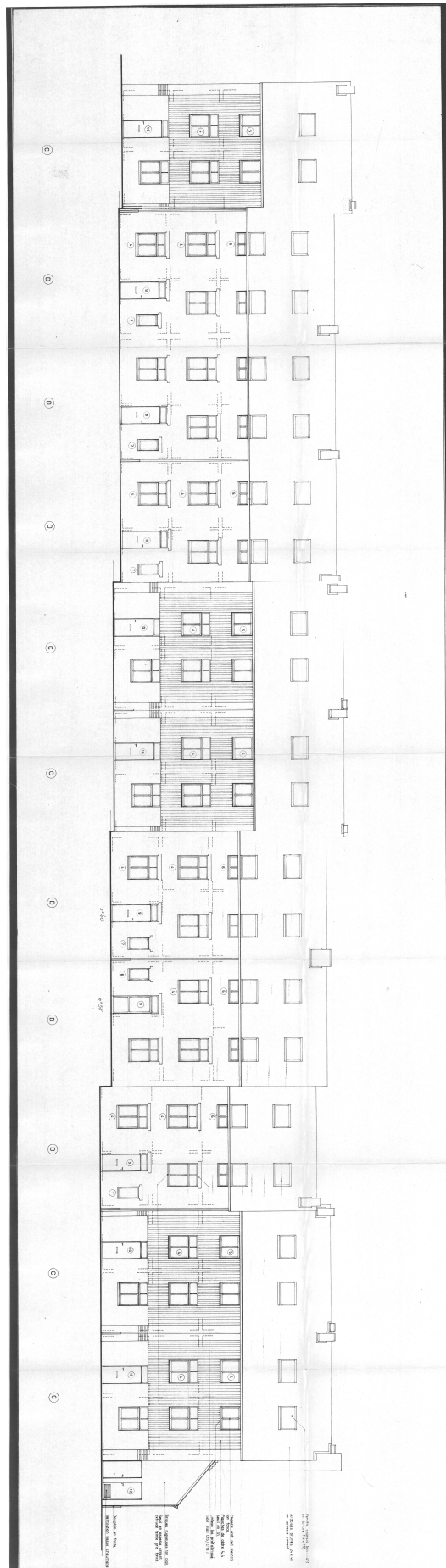
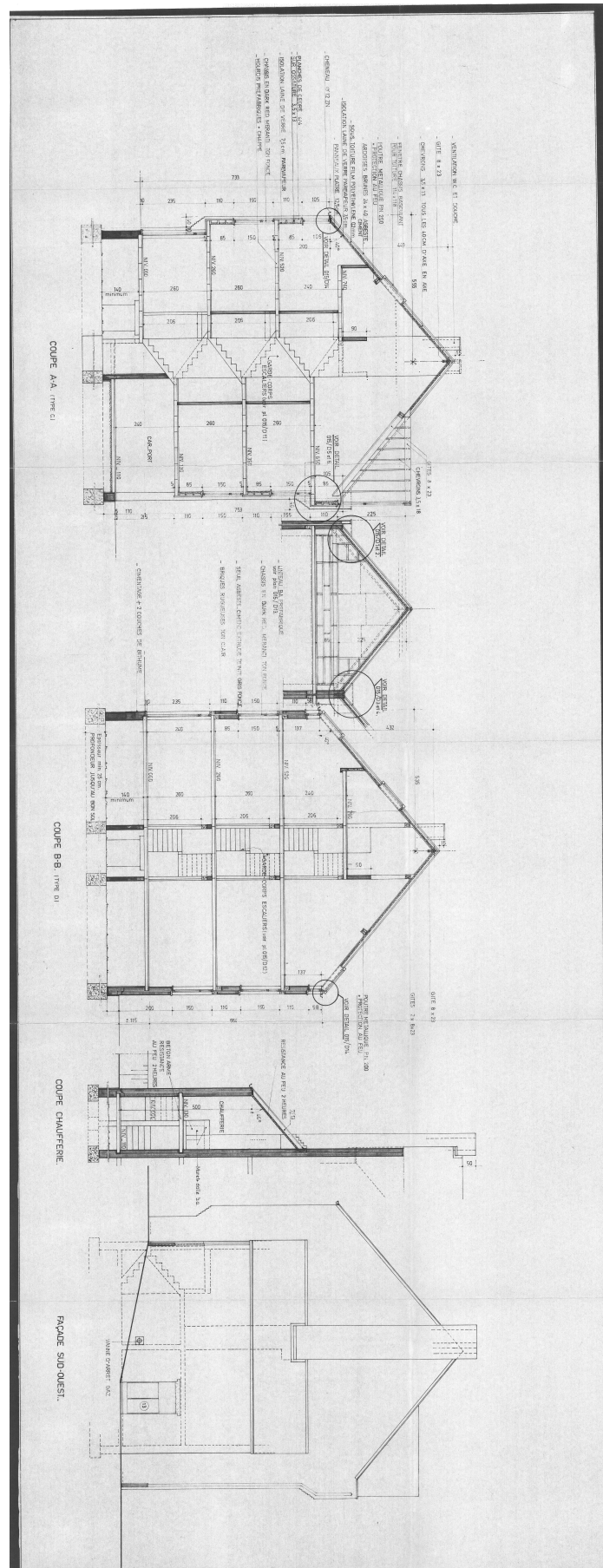


FIGURE C.5 – Plan façade nord ouest KMI



UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

École polytechnique de Louvain

Rue Archimède, 1 bte L6.11.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/epl