

Slowheat@LOCI

Rapport de recherche

Statut
Rapport de recherche

Contact
geoffrey.vanmoeseke@uclouvain.be

Date
juin 2022

Introduction.....	- 2 -
Méthode.....	- 3 -
Bâtiment en général	- 14 -
Espaces de circulation	- 23 -
Ateliers d'architecture.....	- 30 -
Auditoires	- 38 -
Autres espaces d'enseignement	- 41 -
Autres espaces divers.....	- 45 -
Conclusions générales.....	- 52 -
Recommandations	- 53 -
Suites.....	- 54 -
Remerciements	- 54 -
Liste des figures	- 55 -
Annexe : Questionnaire distribué le 20 mars	- 58 -

Introduction

Slowheat@LOCI est une expérience visant à mesurer l'impact sur le confort et les consommations d'énergie de modifications des « usages thermiques ». Elle s'est déroulée sur le site de Saint-Gilles de la Faculté d'Architecture, d'Ingénierie Architecturale, d'Urbanisme (LOCI) de l'UCLouvain, en février et mars 2022.

L'objectif de cette expérience est de démontrer qu'il est possible de maintenir la satisfaction des occupants tout en réalisant d'importantes économies d'énergie, grâce à une réflexion sur les conditions d'ambiance offertes par le bâtiment. En particulier, dans notre cas, il s'agit de sortir de l'uniformité des températures (globalement, tout le bâtiment est chauffé de la même façon), pour trouver une meilleure correspondance entre ambiances, espaces et usages.

Les axes de travail identifiés sont :

- **Un arrêt du chauffage dans les lieux de passage** : couloirs, halls, renforcements, ... : cela renforcera le contraste entre ces espaces de passage et les lieux de travail ou d'enseignement, destinés à une occupation plus longue. Il est attendu que ce contraste induise un ressenti de chaleur plaisant et stimulant (au contraire d'une ambiance homogène et neutre) durant les premières minutes d'occupation des locaux chauffés.
- **Un basculement du système de chauffage de certains locaux peu utilisés** : matériauthèque, local d'impression, bureaux au 4ème étage du bâtiment arrière : ces locaux ne sont utilisés que très ponctuellement, mais maintenus en température en permanence. Nous proposerons pour ces lieux des systèmes de chauffage alternatifs basés sur un apport de chaleur directement sur la personne (radiants), avec une gestion « à la demande ».
- **Un renforcement du rôle de la palmeraie comme espace tampon** : ce volume couvert est un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur. Dans quel mesure peut-on, grâce à lui, arrêter de chauffer les locaux qui le bordent ? Typiquement, les ateliers d'architecture sont actuellement équipés de radiateurs sur leurs façades extérieures comme sur leur façade côté patio. Peut-on déconnecter tout ou partie de ces derniers ? Cela génère-t-il des gradients de températures entre côtés de l'ateliers ? Et si oui, l'extension de la plage de température pouvant être rencontrée dans le local permet-elle à chacun de mieux trouver son bonheur thermique ?

Cette expérience est réalisée avec le soutien de la Fédération Wallonie-Bruxelles, et l'appui financier de l'ARES, dans le cadre de l'appel à projets « Développement Durable » 2022. Elle est également soutenue par le Plan Transition de l'UCLouvain, et les autorités de la faculté LOCI et de l'Institut LAB.

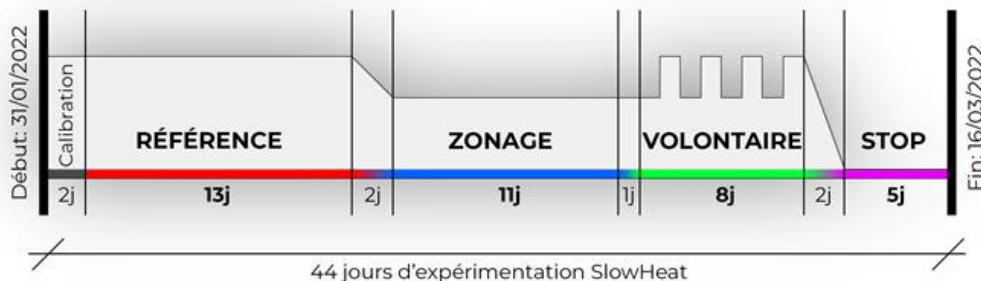
Le présent rapport conclut la première phase de l'expérience, et formule des recommandations portant sur la gestion thermique de ce bâtiment particulier, la définition d'expériences complémentaires, et la généralisations de pistes d'intervention sur d'autres sites de l'UCLouvain.

Méthode

Étapes

Les étapes de l'expérience ont été les suivantes :

- Du 31/01 au 01/02 (2 jours) : calibration des sondes et mise en place
- Du 02/02 au 14/02 (13 jours) : période dite **REFERENCE** : fonctionnement habituel du bâtiment, sans intervention.
- Du 15/02 au 16/02 (2 jours) : période de transition
- Du 17/02 au 27/02 (11 jours) : période dite **ZONAGE** : isolement d'une série d'émetteur thermique afin de circonscrire l'émission de chaleur à certaines zones.
- Du 28/02 (1 jour) : période de transition
- DU 01/03 au 08/03 (8 jours) : période dite **VOLONTAIRE** : appel aux occupants à fermer, sur base volontaire, les vannes thermostatiques lorsque leur ouverture est inutile.
- Du 09/03 au 10/03 (2 jours) : période de transition
- Du 11/03 au 15/03 (5 jours) : période dite **STOP** : fermeture d'autorité des vannes thermostatiques
- 16 mars : fin de l'expérience



En détail, les adaptations liées à la période dite **ZONAGE** sont les suivantes :

- Fermeture des vannes papillons (convecteurs) ou vannes d'isolement (radiateurs) des émetteurs thermiques dans les locaux suivants du bâtiment arrière : hall d'entrée, escaliers, couloirs, sas à l'entrée de la cafétéria (face à la procure), sas de l'entrée technique de la cafétéria, locaux de la façade ouest au 4^e étage (local CEA, local d'allaitement), sur les façades « patio » de tous les ateliers d'architecture, sur la façade « parking » de l'atelier BAC1, ainsi que dans les parties « stock » de la matériauthèque et de la salle des prof BAC

- Note : Dans certains cas, les pas de vis étaient trop usés que pour isoler l'émetteur. Dans ces cas, la vanne de réglage a été mise en position minimale, mais une intervention des occupants est dès lors possible.
- Note : Dans certains cas, malgré la fermeture complète des vannes, l'émetteur restait alimenté en eau-chaude, signe d'un encrassement des vannes empêchant l'isolement complet de l'émetteur.



Figure 1 Exemple de radiateur isolé en phase ZONAGE (ici dans le sas d'entrée de la cafétéria)



Figure 2 Exemple de ventilo-convecteur isolé en phase ZONAGE (ici dans le couloir du 4e étage)

- Correction des position des vannes thermostatiques de tous les radiateurs du bâtiment arrière vers la position 2¹, hors bibliothèque
- Correction des positions des contrôles de tous les ventilo-convecteurs du bâtiment arrière (arrêt de la soufflerie et position neutre sur le réglage thermique) hors bibliothèque
- Note : dans certains cas, les ventilo-convecteurs restent alimentés en chaleur quel que soit le réglage sélectionné (chauffage, refroidissement ou neutre), signe d'une défaillance de ces organes. Il est par ailleurs intéressant de voir que personne n'avait conscience qu'une série d'organes de chauffe ne puisse pas se mettre en position d'arrêt.
- Correction des positions des vannes thermostatiques dans le bâtiment avant : réglage en position 0 pour tous les radiateurs présents dans des espaces de passage, réglage en position 2 pour tous les radiateurs présents dans des espaces de travail.

En détail, les adaptations liées à la période dite **VOLONTAIRE** sont les suivantes :

- Au soir du 27/02, invitation par mail à agir sur les vannes thermostatiques. Le message est le suivant :

« Pour la suite, je vous propose d'essayer de « hacker » le système.

Peut-on, collectivement, essayer de réduire notre consommation de gaz dans ce bâtiment ? Le printemps arrive, le soleil pointe... nous n'avons plus à craindre d'avoir réellement froid. Nous pourrions donc essayer de fermer tous les émetteurs des ateliers ! Je vous invite tous à faire l'expérience pendant les deux semaines qui viennent. Concrètement :

- 1. dès que possible, entamez la discussion avec vos voisins d'atelier sur vos sensations respectives de confort. L'impression générale est-elle « trop chaud » ou « trop froid » ? Comment faire en sorte que chacun soit au mieux ? Peut-on envisager une solution pour que les plus frileux soient bien malgré tout ?*
- 2. fermez les radiateurs ou ventilo-convecteurs à proximité de votre espace de travail.*
 - o s'il s'agit d'un radiateur : mettez simplement les vannes thermostatique au minimum.*
 - o s'il s'agit d'un ventilo-convecteur : les extrémités du capot supérieur se soulèvent. Sous l'une de celles-ci, vous trouverez deux boutons. L'un gère le ventilateur : le mettre sur 0 (on entend si le ventilateur tourne ou non), l'autre gère la température : mettre en position « froid » en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Comme il n'y a pas d'alimentation en eau froide, cela ne va pas refroidir le local, mais bien arrêter de chauffer.*
- 3. la température mettra quelques jours à descendre (si elle descend malgré le soleil). Je vérifierai en cours de semaine et de semaine suivante si les températures chutent ou non, mais ne me permettrai pas de modifier vos réglages. C'est à chacun de se positionner. Merci donc de faire au moins le point 1 ci-dessus.*

¹ Pour une température cible supposée de environ 18°C selon <https://www.energie-environnement.ch/conseils-de-saison/97-bien-utiliser-la-vanne-thermostatique>

Merci à tous pour votre aide. Outre la question environnementale, le contexte géopolitique doit nous inciter à nous sevrer du gaz ! »

En détail, les adaptations liées à la période dite **STOP** sont les suivantes :

- Correction des positions des vannes thermostatiques et contrôles des ventilo-convecteurs dans tout le bâtiment arrière (sauf bibliothèque) : position 0² pour les vannes thermostatique et position « froid » pour les ventilo-convecteurs (ceux-ci n'étant pas alimentés en eau froide, cela revient à un arrêt de l'émetteur – sauf cas d'inversion des conduites au niveau de la connexion hydraulique).
- Les remarques faites pour la période ZONAGE sur l'impossibilité de couper certains émetteurs restent d'actualité. Cette intervention n'a pas fait l'objet d'une information des occupants du bâtiment, faute de relevé de ces émetteurs..

Monitoring des températures

Les relevés de températures se font sur base de sondes Elitech RC5.

Avant déploiement dans le bâtiment, les sondes ont été regroupées dans un même contenant et exposées aux conditions extérieures pendant une journée puis à une remontée en température rapide (Figure 3). La différence maximale constatée entre sondes est limitée à 0.5, conformément aux spécifications technique de l'équipement.

² Pour une température cible supposée de environ 12°C selon <https://www.energie-environnement.ch/conseils-de-saison/97-bien-utiliser-la-vanne-thermostatique>

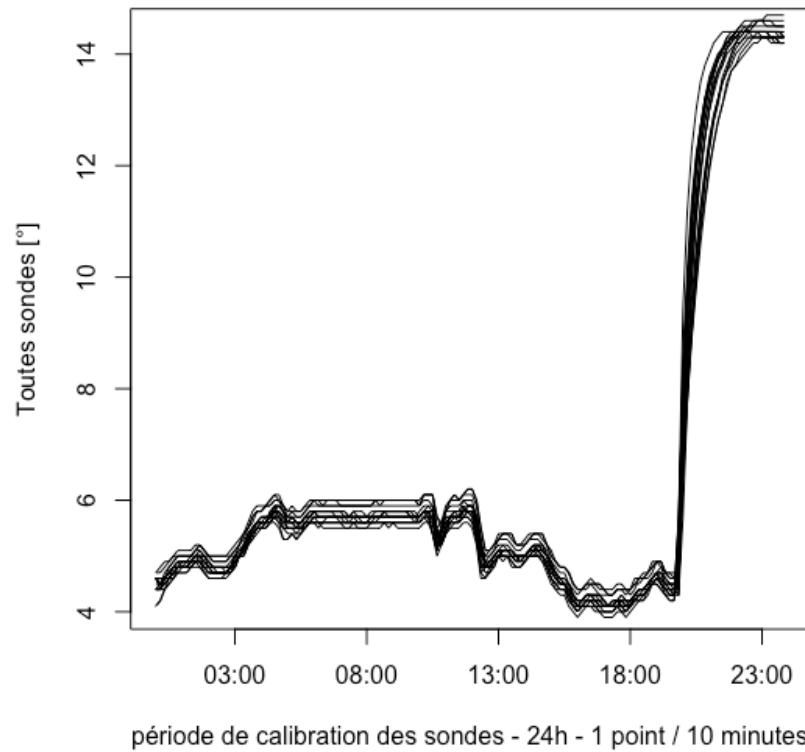


Figure 3 Calibration des sondes de températures

Les enregistreurs de température sont positionnés à hauteur d'Homme ($\pm 160\text{cm}$), collés aux murs, et assortis d'une notice explicative. Les enregistreurs permettent l'affichage de la température instantanée, ce qui peut avoir un impact sur le comportement et la satisfaction des occupants.



Figure 4 Exemple de mise en situation d'un enregistreur de température, ici dans un atelier d'architecture.

Des relevés des données (connections USB de chaque sonde individuellement) ont été faits les 16/02, 23/02 et 16/03. Des relevés ponctuels intermédiaires de certaines sondes ont également été réalisés, mais non enregistrés.

Le Tableau 1 présente les positions (identification du local) et éléments de suivi des différents enregistreurs. Malheureusement, plusieurs d'entre eux ont subi des vols ou mauvaises manipulations, faisant perdre tout ou partie des données.

Tableau 1 Disposition et suivi des sondes de température

Serial number	Position	Suivi
EFI215102721	AR38 - auditoire 3e	
EFI215104143	AR35 - atelier M2 - côté parking	Disparition. Pas de données au-delà du 23 février
EFI215104377	palmeraie	
EFI215104338	couloir 4e	Mauvaise manipulation : absence de données du 15 au 23 février
EFI215105061	AR23 - matériauthèque	
EFI215105063	AR21 - atelier bac3 - côté cour	
EFI215105068	cafeteria	Disparition. Pas de données au-delà du 23 février
EFI215105081	AR33 - local d'impression	Disparition. Pas de données au-delà du 23 février
EFI215105083	AR46 - salle séminaire	
EFI215105085	AR11 - atelier BAC1 - côté patio	
EFI215105090	couloir 2e étage	Disparition. Pas de données au-delà du 23 février
EFI215105143	AR36 - salle archive MA2	
EFI215105144	escalier 2e	
EFI215105146	AR43 - grande salle séminaire	
EFI215105263	AR11 - atelier BAC - côté parking	Mauvaise manipulation : absence de données du 15 au 23 février
EFI215105270	AR35 - atelier M2 - centre	Disparition. Pas de données au-delà du 23 février
EFI215105505	AR48 - salle dessin 2	
EFI215105509	AR21 - atelier bac3 - côté patio	
EFI215105667	local prof bac 1	Mauvaise manipulation : absence de données du 15 au 23 février
EFI215105689	entrée	Disparition. Absence totale de données.

Sauf mention contraire, les distributions de températures représentées dans l'analyse sont 24h/24 et 7j/7, et non limitées aux périodes d'occupation. Lorsqu'il est précisé « période d'occupation », les données couvrent les jours de semaine, de 8h00 à 18h30.

Enquêtes auprès des utilisateurs

Deux enquêtes en ligne ont été réalisées. Elles ont été développées avec Limesurvey et diffusées au moyen des listes de diffusion étudiant et membres du personnel du site.

La première, du 11/02 au 14/02, porte sur les deux premières semaines du semestre. La seconde du 20/03 au 27/03 (avec rappel au 24/03), porte de façon globale sur les 5 semaines d'expérience.

Elles ont reçu 65 et 88 réponses exploitables, respectivement, pour un nombre d'utilisateurs du site avoisinant les 700 personnes. Ce taux de réponses (environ 10%)

En annexe se trouve le détail de la seconde enquête. Elle comprend 18 questions divisées en 5 thèmes :

- A : identification du répondant
- B : confort
- C : satisfaction
- D : habillement
- E : retour d'expérience

La première enquête lui est identique, à ceci près que les questions de la partie E n'y sont pas présentes.

Les questions de confort et de satisfaction sont basées sur des échelles de Likert à 7 ou 6 points, comme traditionnellement fait dans les Building Post Occupancy Evaluations. Il n'y a pas eu de questions de confort et satisfaction liées aux espaces fréquentés uniquement par les enseignants (salles de prof), car trop peu de répondants potentiels pour une analyse rigoureuse. Mais possibilité était laissée de formuler des commentaires (question E6).

Les questions liées aux pratiques vestimentaires ont servi de base au calcul d'un niveau d'habillement global sur l'échelle relative CLO, en se basant sur la table de conversion du Tableau 2. La valeur globale est calculée en additionnant les valeurs associées aux choix pour les différentes catégories de vêtement (les sous-vêtements sont négligés). Un champ libre était systématiquement proposé aux répondants, ce qui a permis de tenir compte de choix vestimentaires non anticipés et de leur associer une valeur par interpolation ou association à des vêtements similaires.

Tableau 2 Table de conversion en CLO des différentes pièces de vêtement

Catégorie	Choix	Valeur CLO
Haut visible	blouse ou chemise	0.2
	pull moyen ou sweat	0.25
	pull chaud	0.35
	plusieurs pull	0.5
	manteau	0.6
Haut invisible	une couche manche courte	0.09
	une couche manche longue	0.12
	2 couches	0.18
	3 couches ou plus	0.27
Bas visible	pantalon moyen	0.2
	pantalon chaud	0.28
	jupe courte	0.15
	jupe longue	0.25
Bas invisible	rien	0.03
	collant	0.15

Chaussures	semelle fine	0.02
	semelle épaisse	0.04
Chaussettes	fine	0.05
	épaisse	0.1
	plusieurs fines	0.1
Col	rien	0
	tour de cou	0.04
	châle	0.01
	écharpe	0.04
Main	rien	0
	gant	0.05
	mitaine	0.05
Tête	rien	0
	bonnet	0.03
	casquette	0.01

Enfin, notons que lors de l'interprétation des résultats, les personnes s'identifiant comme membres du personnel administratif ou de la bibliothèque à la question A1 ont été assimilés aux enseignants.

Monitoring des consommations

Le relevé horaire des consommations des gaz a été réalisé au moyen d'un lecteur optique FLUDIA positionné sur le compteur gaz (Figure 5), sur base de photos de l'index reportées manuellement dans des tableurs. Ce lecteur dispose d'une fonction automatique de reconnaissance de caractère, mais cette dernière n'a pas fonctionné.



Figure 5 Photo du lecteur optique sur le compteur gaz

Le relevé s'est fait au niveau du compteur gaz général du bâtiment. Les données relevées incluent donc l'ensemble des consommations de gaz du site, tous bâtiments et usages confondus.

La récupération des données gaz a échoué à partir du 4 mars, empêchant l'analyse de la période **STOP**.

Le relevé des consommations électriques n'a pas été possible, faute d'accès aux compteurs. Comme le montrent les analyses, les recours aux chauffages d'appoints électriques n'ont été que marginaux et il n'est pas supposé d'influence visible de ceux-ci sur les consommations électriques globales du bâtiment. Cette absence de données est donc non préjudiciable.

Données climatiques extérieures

Les conditions climatiques extérieures pendant l'expérience ont été récupérées a posteriori sur le site infoclimat.fr.

Systèmes de chauffage d'appoint

Les équipements suivants ont été mis à disposition des occupants :

- Un radiant électrique sur pied JHS-1500RS de 1500W, modulable à 500 et 1000W (atelier AR11) (Figure 6)
- Des radiants portatifs halogènes VEGA 1200W, modulable à 400 et 800W, avec fonction rotative (salles de dessin, atelier AR36, local prof bac1, locaux dédiés du 4ème étage (local CEA, cellule de soutien psy) (Figure 7)



Figure 6 Electric radiant heater JHS-1500RS



Figure 7 Radiant portatif VEGA 1200W

Ces équipements étaient assortis d'allonges électriques et de prises avec minuteur de type ANSMANN AES1 (Figure 8).



Figure 8 Prises avec minuteur ANSMANN AES1

Bâtiment en général

Bâtiment - Consommations d'énergie

Les relevés bruts de consommation sont présentés dans les Figure 9 à Figure 11.

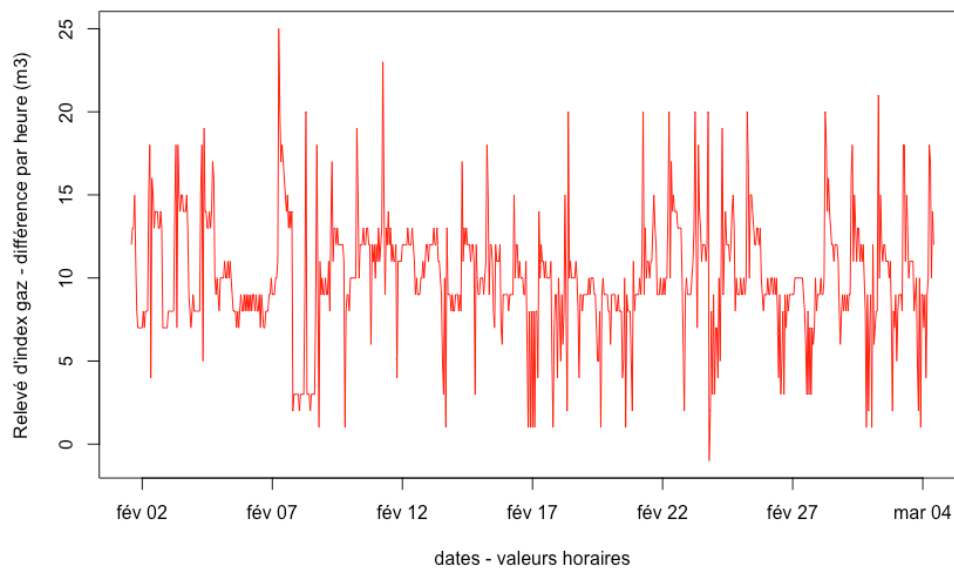


Figure 9 Consommation de gaz par heure pour toute la période de relevé

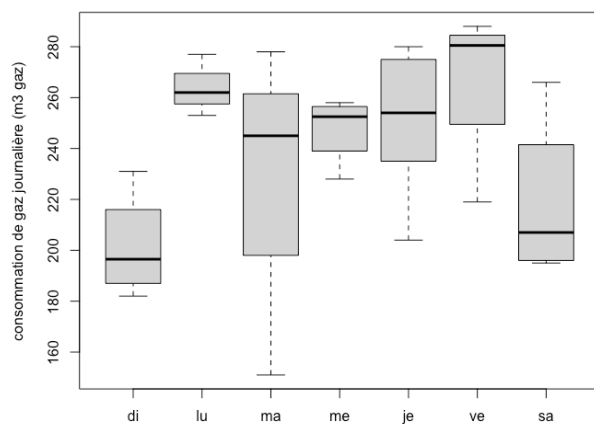


Figure 10 Distribution des consommations par jour de la semaine, pour toute la période relevée

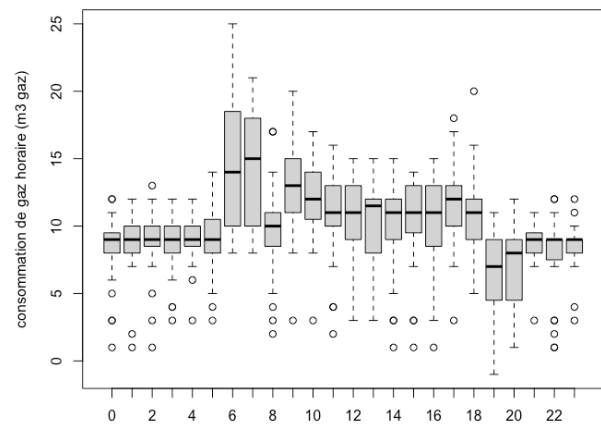


Figure 11 Distribution des consommations de gaz horaire selon l'heure de la journée, pour toute la période de relevé

Les Figure 12 et Figure 13 permettent d'observer les tendances générales pour les différentes étapes de l'expérience.

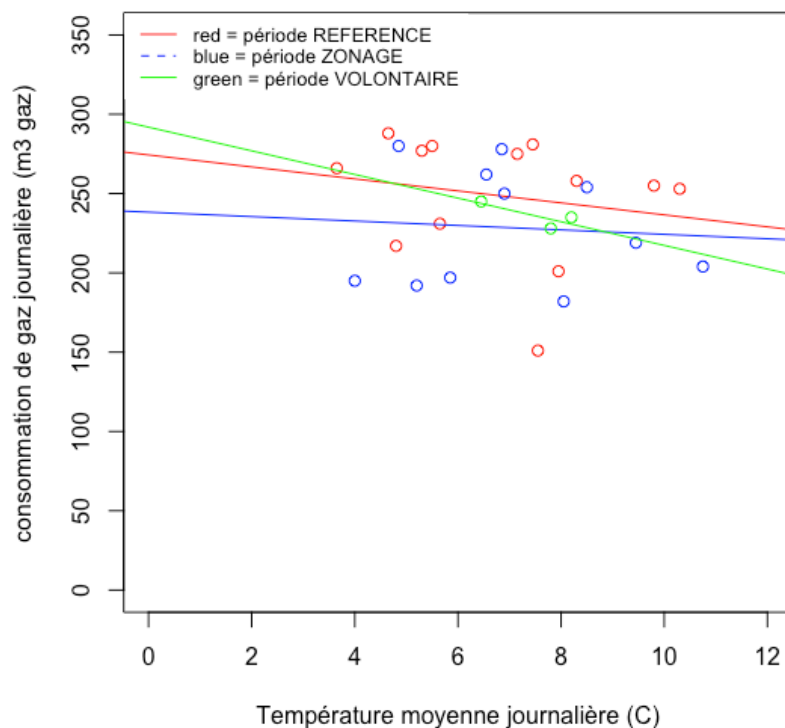


Figure 12 Consommation quotidienne de gaz comparée à la température moyenne journalière, par période

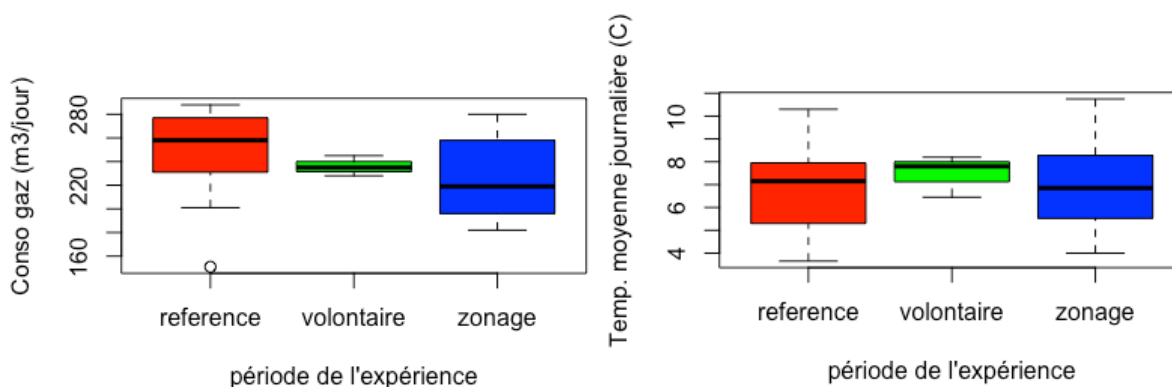


Figure 13 Plages de consommations d'énergie par période d'expérience, en regard des températures extérieures sur la période. Attention, les valeurs pour la période VOLONTAIRE ne portent que sur 3 jours et sont donc peu fiables.

Observations :

- Réduction des consommations le WE par rapport aux jours de semaine (Figure 10)
- Consommation horaire quasiment jamais nulle, même en dehors des périodes d'occupation (Figure 11). On constate une consommation d'énergie quasiment constante entre 21h et 5h du matin.
- La période ZONAGE présente une moindre consommation journalière que la période REFERENCE. C'est moins clair pour la période VOLONTAIRE (Figure 12).
- Les températures extérieures sont similaires pour les périodes REFERENCE et ZONAGE (Figure 13 droite) tandis que les consommations de gaz sont plus basses pour la période ZONAGE (Figure 13 gauche) : moyenne de 228.5 m³/jour contre 248.7 m³/jour, soit une réduction de 8.2%.
- Le faible nombre de journées de données de consommation invite à la prudence. Seule la période REFERENCE offre suffisamment de points pour réussir un test de normalité (Shapiro-Wilk) avec une valeur p de 0.031, contre 0.12 et 0.81 pour les périodes ZONAGE et VOLONTAIRE respectivement.

Bien qu'il n'y ait pas eu de contrôle systématique, une inspection régulière des positions des vannes thermostatique indiquait peu d'action de la part des occupants dans la période VOLONTAIRE.

Bâtiment - Confort et satisfaction

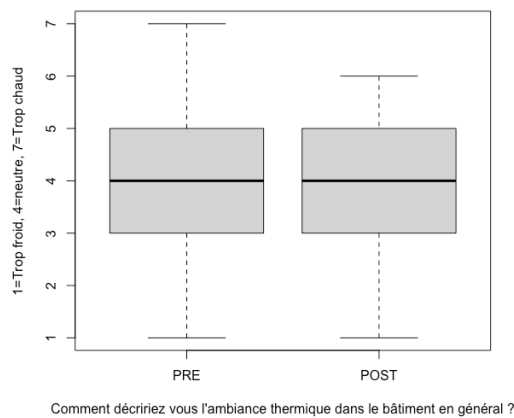


Figure 14 Distribution des votes de confort avant et après l'expérience, pour le bâtiment en général

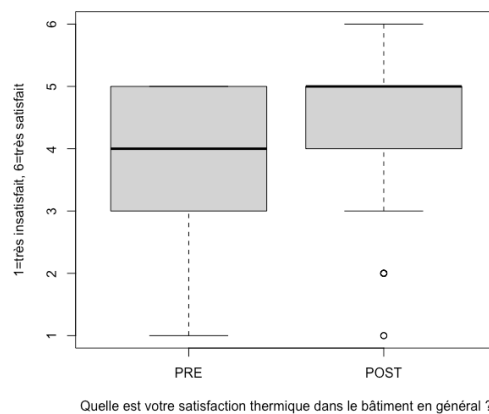


Figure 15 Distribution des expressions de satisfaction avant et après l'expérience, pour le bâtiment en général

Observations :

- A l'échelle du bâtiment : pas de modification sensible du vote de confort entre la période de référence et d'expérience (Figure 14) (Welch Two Sample t-test pvalue = 0.87)³.
- A l'échelle du bâtiment : Il y a une différence significative (Welch Two Sample t-test pvalue = 0.02) du vote de satisfaction entre la période de référence et la période d'expérience (Figure 15)⁴.

³ Les votes de confort présentent une distribution normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p=0.003 PRE et 0.0001 POST).

⁴ Les votes de satisfaction présentent une distribution normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p=2.049e-07 PRE et 1.923e-07 POST).

Bâtiment - Adaptations comportementales

- Les niveaux d'habillement calculés avant et après l'expérience sont décrits dans la Figure 16.

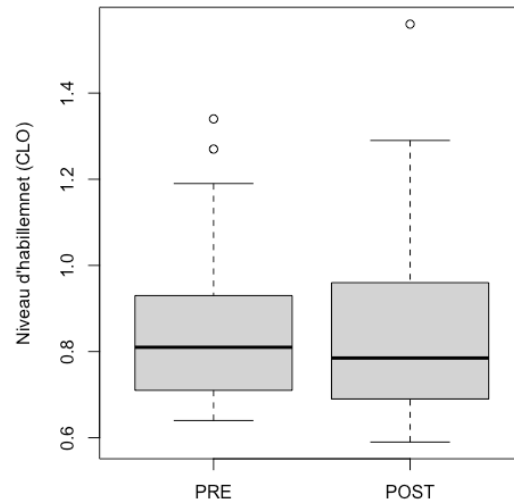


Figure 16 Distribution des niveaux d'habillement avant et après l'expérience

- A la question « Estimez-vous avoir suffisamment de contrôle sur l'ambiance des locaux que vous fréquentez ? », 57 répondants choisissent « non » et 19 « oui »
- A la question « Quelle a été votre utilisation de chauffages d'appoints à LOCI ces dernières semaines ? », les réponses choisies en fin d'expérience sont :
 - 47 votes pour « Je n'ai pas eu accès à des chauffages d'appoint. »
 - 20 votes pour « J'ai eu accès à des chauffages d'appoint, mais n'ai pas eu besoin de les utiliser. »
 - 6 votes pour « J'ai parfois utilisé des chauffages d'appoints, mais ils ne m'ont pas satisfait. »
 - 3 votes pour « J'ai parfois utilisé des chauffages d'appoints et ils m'ont satisfait. »

Observations :

- Pas de modification sensible du niveau d'habillement moyen (Figure 16) (Welch Two Sample t-test pvalue = 0.86)⁵.
- Légère augmentation de la variance d'habillement, mais non statistiquement significative (F test pvalue=0.898)
- Peu d'utilisation des systèmes d'appoint fournis, et, en cas d'utilisation, peu de satisfaction.

⁵ Les niveaux d'habillement calculés présentent une distribution normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p= 0.0003996 PRE et 1.206e-05 POST).

Bâtiment - Motivation et suites

- A la question « Diriez-vous que les expériences menées ces dernières semaines sur la température intérieure sont à prolonger pour réduire l'empreinte environnemental de la faculté ? », 13 répondants choisissent « non » et 63 « oui »
- A la question « Diriez-vous que d'éventuelles nouvelles expériences doivent être plus ambitieuses (réduire plus fortement les températures de certains lieux par exemple) ? », 29 répondants choisissent « non » et 47 « oui »

Complémentairement aux questions fermées, les commentaires suivants ont été collectés par questions ouvertes ou par mail. Ne sont repris ici que ceux portant sur le bâtiment dans son ensemble :

- « A poursuivre, il semble y avoir un potentiel d'économie »
- « Je trouve que cela vaut la peine de continuer une telle expérience car cela questionne vraiment la manière dont on utilise le chauffage central »
- « Travailler sur des visuels plus attrayants pour mieux interpeller et conscientiser (si possible) tous les utilisateurs du bâtiment. Il faudrait pouvoir quantifier/valoriser les économies réalisées (en tonnes CO2 ou en €), chacun pourrait se sentir acteur de ce projet. »
- « De manière générale et en discutant avec les autres élèves, il faisait bien plus chaud dans les bâtiments une fois que l'expérience avait commencé. Je n'avais jamais eu trop chaud à LOCI et là c'est arrivé très souvent. Beaucoup de gens ont vécu un inconfort (trop chaud ou trop froid) et ont touché les radiateurs. On ne sait pas si ça a un impact sur l'expérience ? Merci en tout cas de vous être penché sur la question du confort thermique à LOCI et de l'impact environnemental ! »
- « Il a fait bien plus beaux ces dernières semaines qu'au début de l'expérience donc difficile de donner des sensations "objectives" car forcément dans un local non chauffé en plein soleil on a quand même super chaud. Donc à la question est-ce qu'on continue l'expérience pour diminuer la consommation, je réponds oui mais pas comme au début de l'expérience où il faisait clairement froid ! »
- « Je ne sais pas si cela a été fait, mais pour la prochaine fois, il sera envisageable de faire un premier questionnaire avant la mise en place de l'expérience. Leur différence sera la réponse à celle-ci.
- « Indiquez les dates. Prévenir les étudiants et enseignants, je pense que les mails ne suffisent pas. J'ai compris qu'une expérience était en cours lorsque j'ai rencontré un technicien qui installait le chauffage d'appoint, il nous a alors expliqué. J'ai vu par la suite les petites fiches explicatives sur les radiateurs. Cependant, elles ne sont pas assez visibles, grandes. Une grande affiche à l'entrée marquera plus d'esprits et les étudiants prendrons conscience de l'expérience et de leur ressenti dans les locaux. »
- « Un tout grand merci pour cette expérience ! »
- « Pourrait-on avoir une visibilité plus importante des périodes test, par exemple avec des affiches dans l'école, informant également sur l'utilité de mettre un pull ou autre en plus ? »

- « Il m'a semblé que l'ensemble du système de chauffage n'était pas lié à une sonde extérieure. En ce mois de mars, n'était-il pas possible d'éteindre totalement le chauffage de certains locaux ? Je l'ai fait chez moi. Très peu de contrainte. »
- « Nous n'avons pas osé prendre d'initiative sur les températures des chauffages. Attendez-vous de nous un usager actif ou le système est-il géré autrement (sondes, thermostat ou personnel) ?
- « Y a-t-il eu un audit au niveau de l'isolation extérieure des bâtiments ? »
- « Les fenêtres ouvertes alors que le chauffage était en fonctionnement. Il serait important de rappeler qu'il faut éteindre les radiateurs lorsque le soleil chauffe beaucoup dans certaine pièce et qu'il fait chaud, avant d'ouvrir les fenêtres. »
- « Voilà une belle expérience qui donne tout son sens à la notion de "sciences appliquées. Félicitations pour l'initiative et bonne continuation. »

Bâtiment - Discussion

- L'économie moyenne constatée de 20.2 m³/jour représente 208.3 kWh/jour⁶, soit de l'ordre de 29.2 EUR/jour⁷. Cette économie est constatée pour une période où les degrés jours unifiés moyens sont de 10.9DJU/jour (min=7.4, max=14.4). En transposant cette économie à une année de 2352 DJU (valeurs pour 2021⁸), **cela représente une économie potentielle de 6301 EUR/an.**
- Il est cependant délicat d'attribuer l'intégralité de cette économie à l'expérience Slowheat, dans la mesure où la période ZONAGE a bénéficié de plus de gains solaires que la période de référence. Ceux-ci, et leur impact, n'ont cependant pas pu être isolés dans les mesures.
- Vu les faibles variations de température observées dans les locaux (voir plus loin), il est difficile d'attribuer l'amélioration de la satisfaction à l'expérience menée. D'autres paramètres peuvent influencer le vote (luminosité, climat extérieur, etc.).
- Néanmoins, il est rassurant de constater que l'expérience n'a pas mené à une modification de la distribution du vote moyen de confort ou à une baisse de la satisfaction.
- L'expérience menée n'a pas donné lieu à des modifications des pratiques vestimentaires.
- Malgré (ou grâce à ?) son peu d'impact sur le confort et les habitudes, les répondants au questionnaire de fin estiment à une large majorité qu'il faut prolonger l'expérience.
- Les commentaires récoltés montrent que l'expérience soulève des questions plus générales sur la conduite énergétique du bâtiment.
- Les commentaires récoltés montrent le désir de valorisation et de publicité des efforts réalisés.
- A une large majorité, les répondants déplorent une trop faible capacité d'action de leur part sur les systèmes thermiques.
- Le choix des systèmes d'appoint mis à disposition doit être revu, pour augmenter le recours à ceux-ci.
- Le maintien d'un talon de consommation nocturne constant interpelle. Il est probablement lié à la combinaison d'une non interruption totale du chauffage la nuit (inclus WE), lui préférant une simple réduction de consigne de température d'eau, et à l'absence de contrôle par thermostat dans les locaux. Une quantité non négligeable d'énergie est ainsi délivrée dans le bâtiment sans aucune information sur le besoin réel. L'intégrale des consommations entre 21h00 et 5h59 du matin représente, sur la période de mesure, 2421 m³ de gaz, sur un total de 7398, soit 32.7%, pour un coût indicatif de 3495 euro sur le mois de mesure. Si la totalité de cette énergie ne peut pas être considérée inutile pour le confort thermique, il semble néanmoins qu'une modification de la régulation serait à envisager.

⁶ En considérant un pouvoir calorifique supérieur de 10.3112 kWh/m³ (moyenne entre 10.2772 pour février 2022 et 10,3451 pour mars – chiffres Sibelga pour Bruxelles)

⁷ En considérant un coût indicatif de 14cEUR/kWh

⁸ <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2018/uccle-ukkle/valeurs/06447.html>

- La ci-après montre l'évolution de la température dans les ateliers pendant la période de référence. On y constate une grande stabilité (pas de ralenti nocturne ou de WE – 5 et 6/2, 12 et 13/2), corroborant le constat d'un chauffage continu.

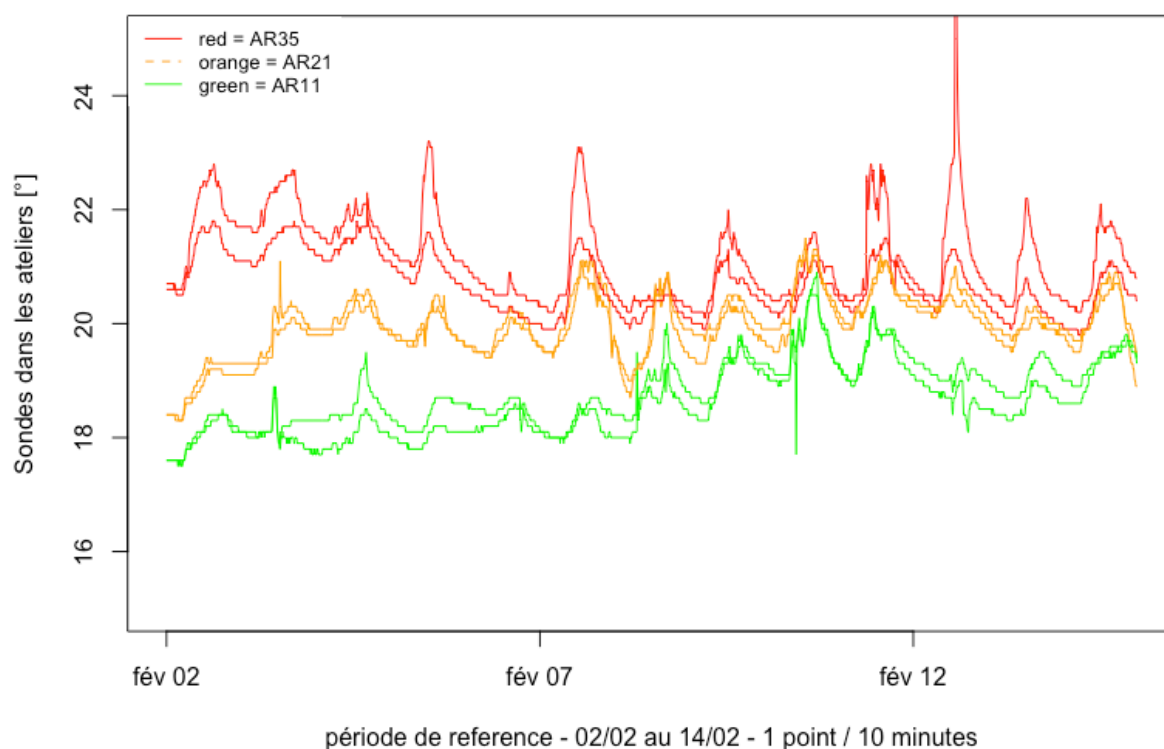


Figure 17 Évolution des températures dans les ateliers pendant la période de référence.

Espaces de circulation

Circulations – Températures

Les Figure 18 à Figure 21 montrent les distributions de températures dans les différents espaces de circulation, toutes heures confondues.

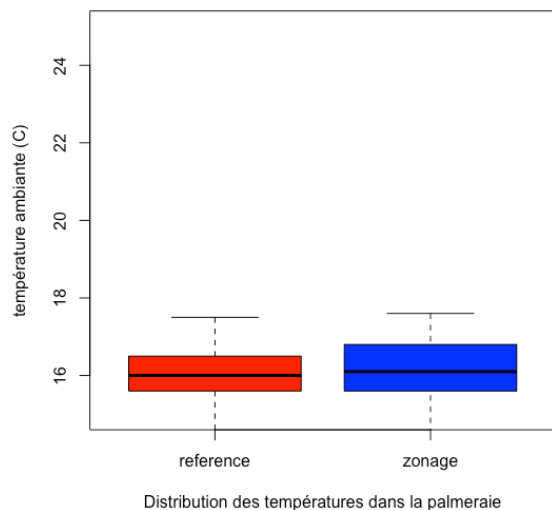


Figure 18 Distribution des températures dans la palmeraie, par période d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)

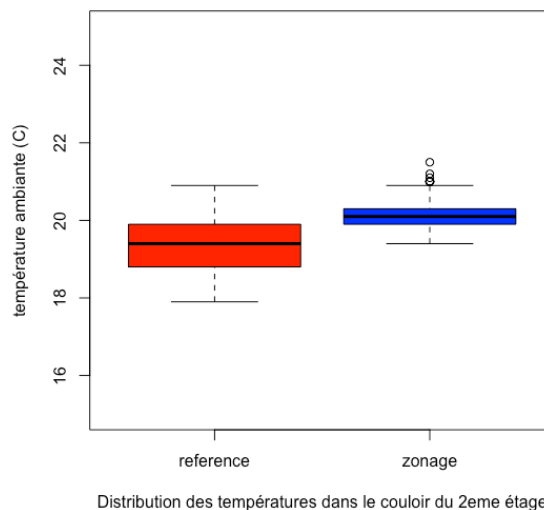


Figure 19 Distribution des températures dans le couloir du 2^{ème} étage, par période d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)

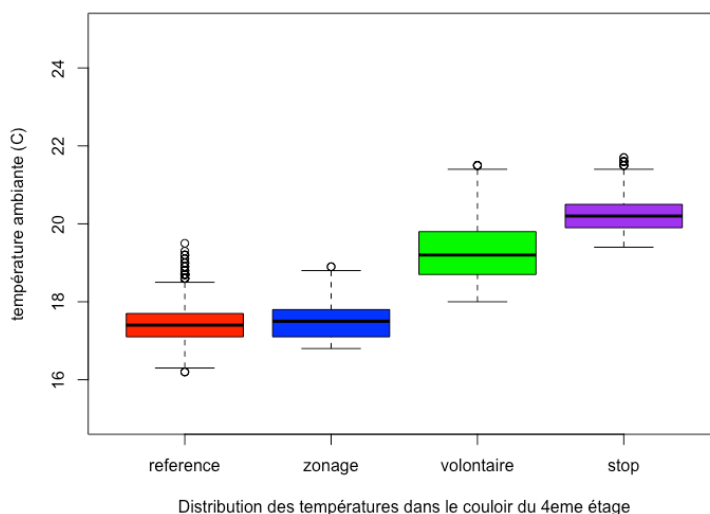


Figure 20 Distribution des températures dans le couloir du 4^{ème} étage, par période d'expérience.

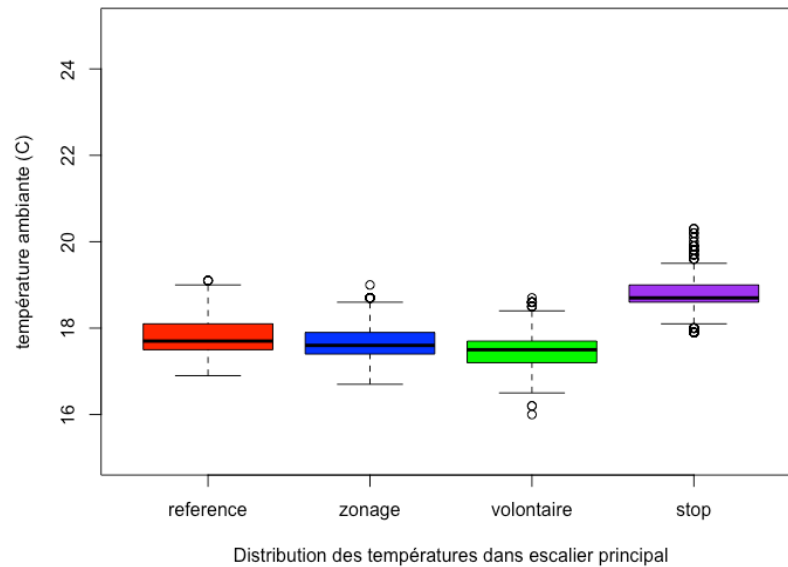


Figure 21 Distribution des températures dans l'escalier principal, par période d'expérience.

Les Figure 22 à Figure 25 montrent les distributions de températures dans les différents espaces de circulation, e période d'occupation uniquement.

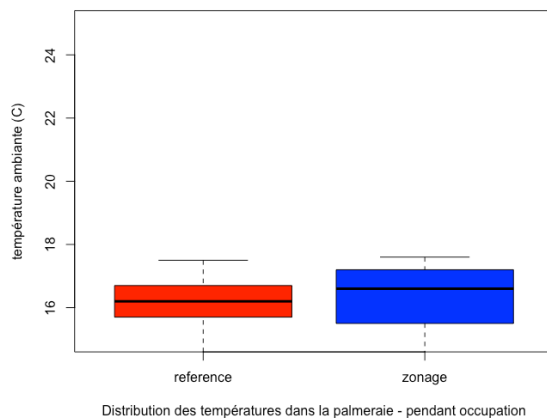


Figure 22 Distribution des températures dans la palmeraie, par période d'expérience – durant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)

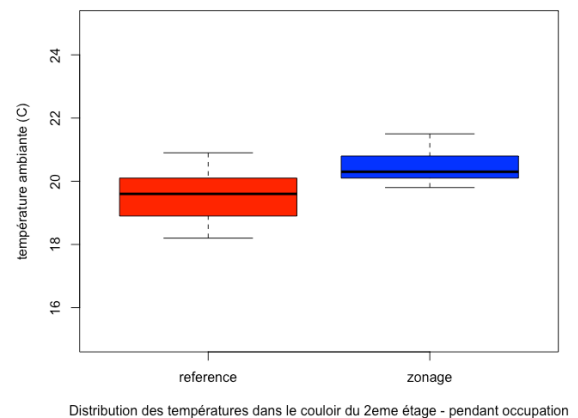
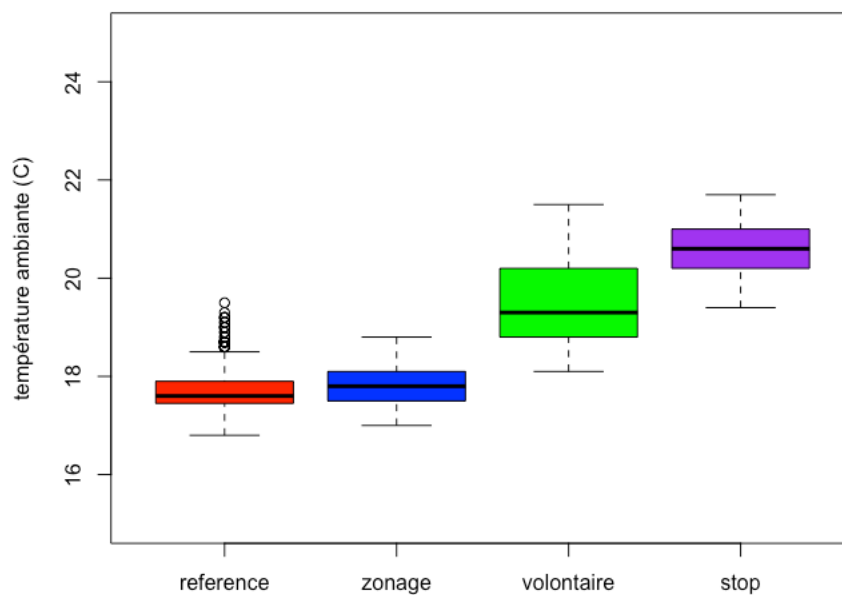
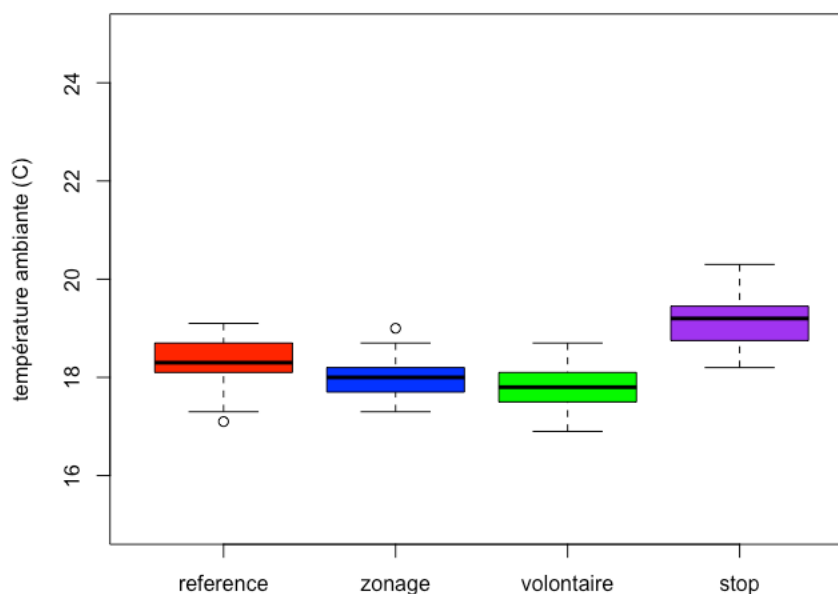


Figure 23 Distribution des températures dans le couloir du 2^{ème} étage, par période d'expérience – durant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)



Distribution des températures dans le couloir du 4eme étage - pendant occupation

Figure 24 Distribution des températures dans le couloir du 4^{ème} étage, par période d'expérience – durant l'occupation.



Distribution des températures dans escalier principal - pendant occupation

Figure 25 Distribution des températures dans l'escalier principal, par période d'expérience – durant l'occupation.

Observations :

- Stabilité des températures dans la palmeraie, mais températures basses, autour de 16°C (Figure 18 et Figure 22)
- Élévation des températures dans le couloir du 2eme étage, malgré la fermeture des émetteurs de chaleur (Figure 19 et Figure 23)
- Élévation progressive des températures dans le couloir du 4^{ème} étage, malgré la fermeture des émetteurs de chaleur. Températures basses néanmoins (inférieures à 20°C, sauf période STOP) (Figure 20 et Figure 24)
- Légère diminution des températures dans l'escalier principal, sauf pour la période STOP (période la plus avancée dans le printemps) (Figure 21 et Figure 25)
- Les températures dans le hall d'entrée n'ont pas pu être enregistrée (vol de sonde dès les premier jour). C'est particulièrement dommage dans la mesure où cet espace était fortement chauffé avant l'expérience.

Circulations - Confort et satisfaction

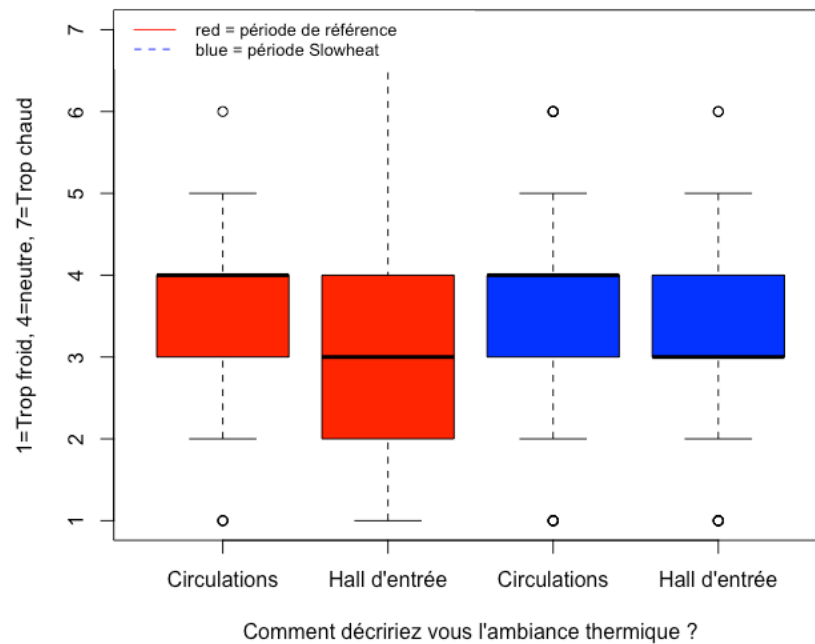


Figure 26 Distribution des votes de confort dans les espaces de circulation, avant et après l'expérience

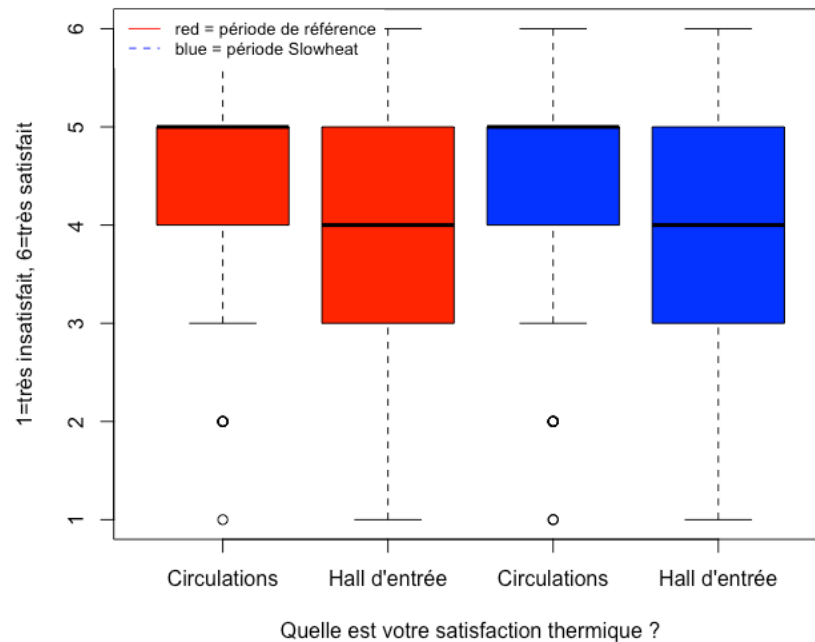


Figure 27 Distribution des votes de satisfaction dans les espaces de circulation, avant et après l'expérience

Observations :

- Vote de neutralité thermique pour les espaces de circulation. Sans modification notable suite à l'expérience.
- A la question « Les espaces de circulations (hall d'entrée, escalier, couloirs) sont ceux où la température a le plus baissé pendant les expériences de ces dernières semaines. Quelle suite envisager pour ces espaces ? », les réponses choisies en fin d'expérience sont (Figure 28) :
 - o 3 votes pour « Les équiper pour qu'ils soient à la même température que les autres locaux. »
 - o 29 votes pour « Faire en sorte qu'ils soient chauffés mais à une température légèrement plus faible que les autres locaux. »
 - o 47 votes pour « Ne plus les chauffer du tout, sauf situation exceptionnelle (exposition, cocktail,...). »

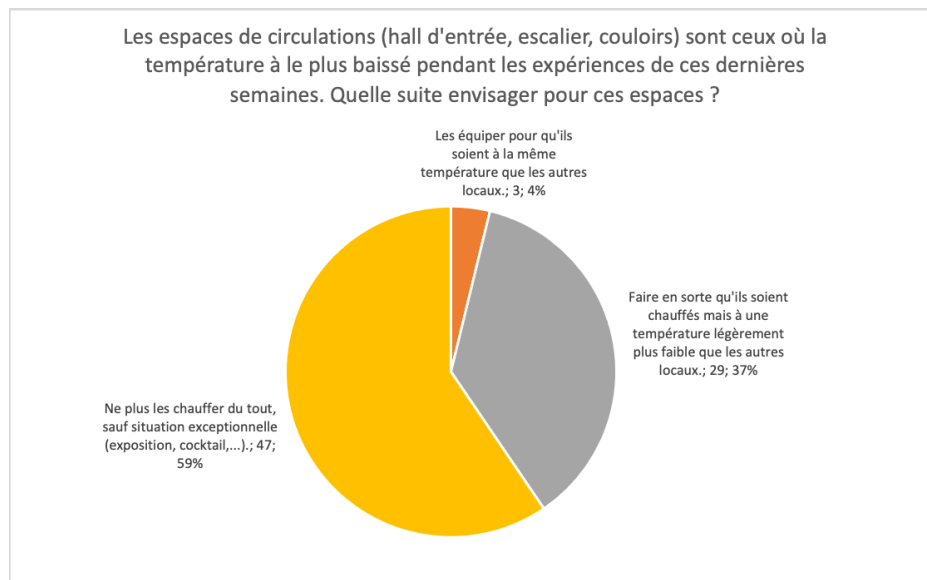


Figure 28 Distribution des réponses à la question relative à la gestion future des ambiances dans les espaces de circulation.

Enfin, seuls deux commentaires libres ont été reçus concernant les espaces de circulation :

- « Par contre, on n'a pas ressenti de grande différence dans les halls/couloirs/escaliers (attention à la température à maintenir pour les palmiers du patio central) »
- « J'ai été étonnée que la température ait le plus baissé dans les couloirs et hall d'entrée. On pourrait selon moi baisser encore plus la température dans les lieux de passage, où la plus grande majorité des personnes portent leur veste et sont en mouvement, mais essayer de rendre la température dans les classes et les salles où l'on reste le plus souvent immobile un peu plus confortables, car porter une veste pendant un atelier ou un cours n'est vraiment pas agréable. »

Circulations - Discussion

- L'expérience n'a pas permis de modifier sensiblement les températures dans les espaces de circulation, malgré la fermeture des émetteurs thermiques. Les températures sont néanmoins relativement basses dans ces espaces.
- La satisfaction des occupants dans ces ambiances montrent le potentiel d'acceptabilité d'ambiances « fraîches » pour les espaces de circulation. Le vote en faveur d'un arrêt complet du chauffage de ces espaces (hors événement ponctuel), renforce cette conclusion, de même que les commentaires libres.

Ateliers d'architecture

Ateliers - Températures

Les Figure 29 à Figure 31 montrent les distributions de températures dans les différents ateliers, toutes heures confondues. .

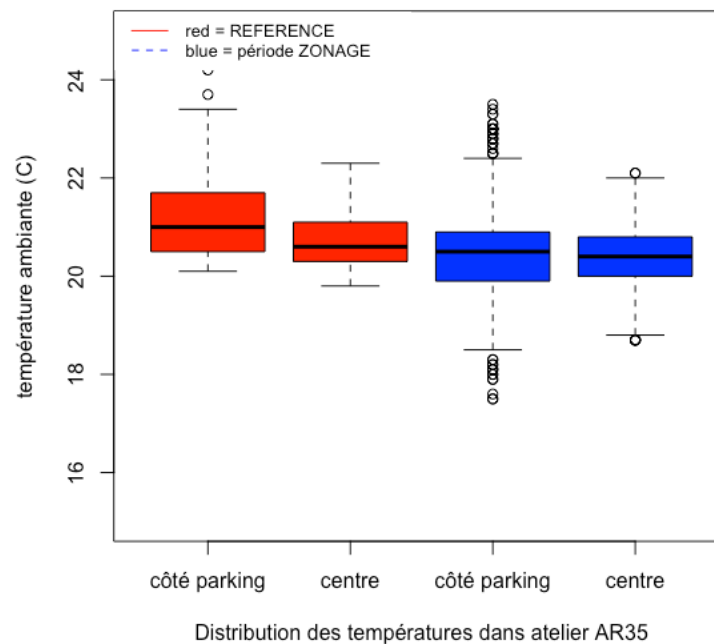


Figure 29 Distribution des températures dans l'atelier Master 2 AR35, selon les périodes d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurées (mauvaise manipulation des sondes)

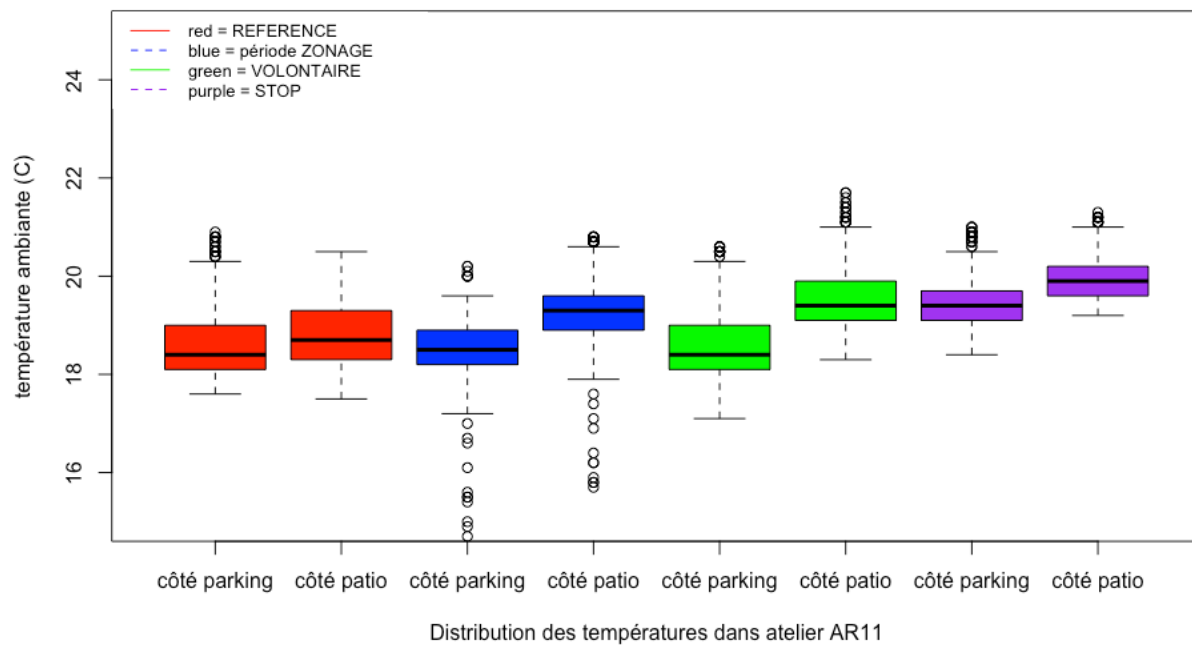


Figure 30 Distribution des températures dans l'atelier BAC AR11, selon les périodes d'expérience.

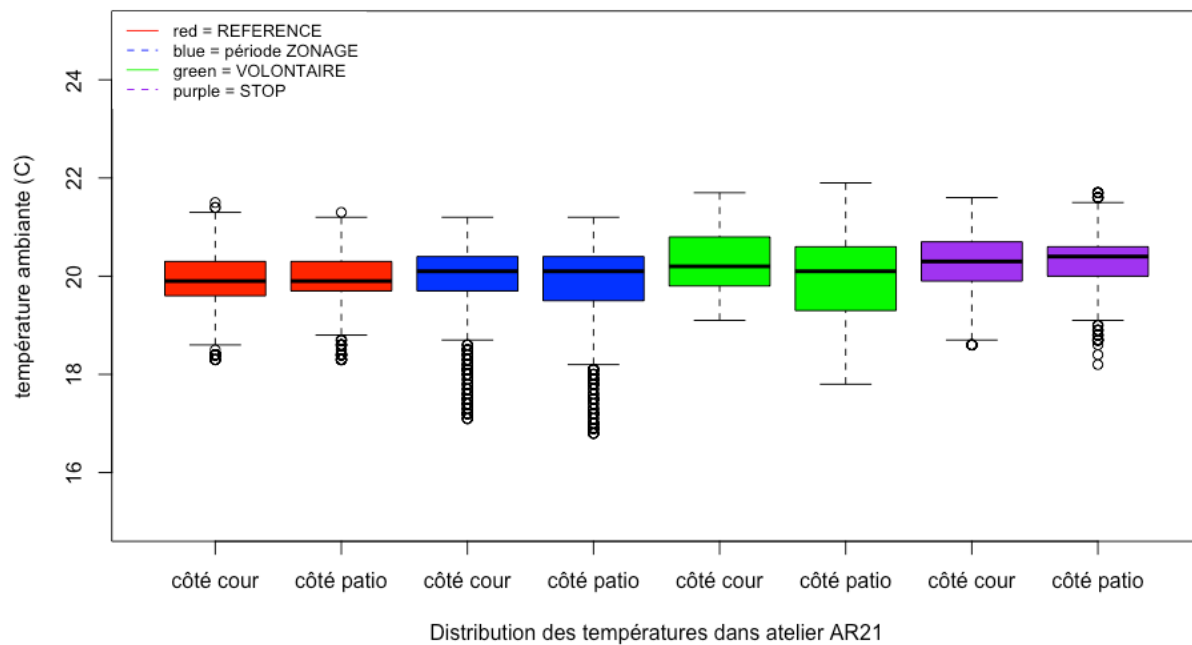


Figure 31 Distribution des températures dans l'atelier MASTER AR21, selon les périodes d'expérience

Les Figure 32 à Figure 34 montrent les distributions de températures dans les différents ateliers, pendant les périodes d'occupation.

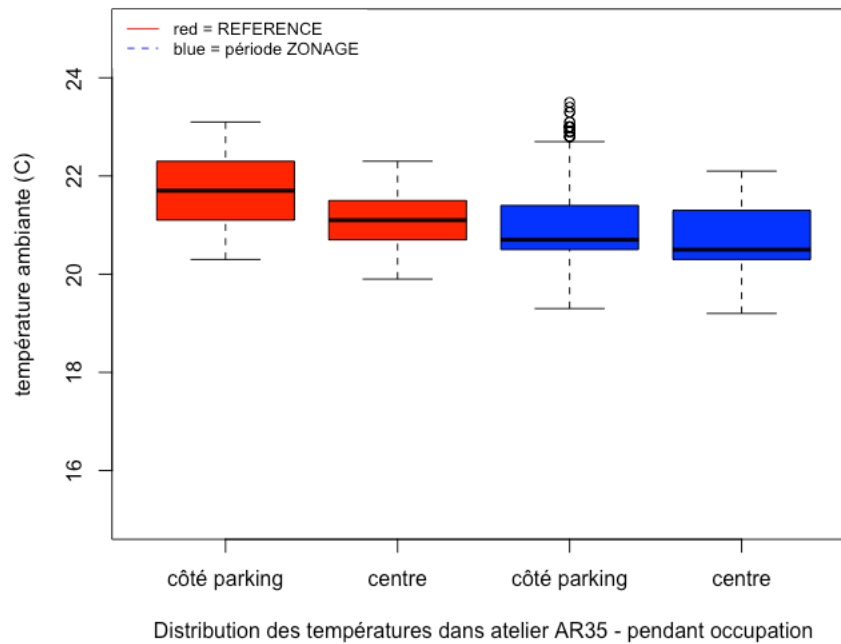


Figure 32 Distribution des températures dans l'atelier Master 2 AR35, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurées (mauvaise manipulation des sondes)

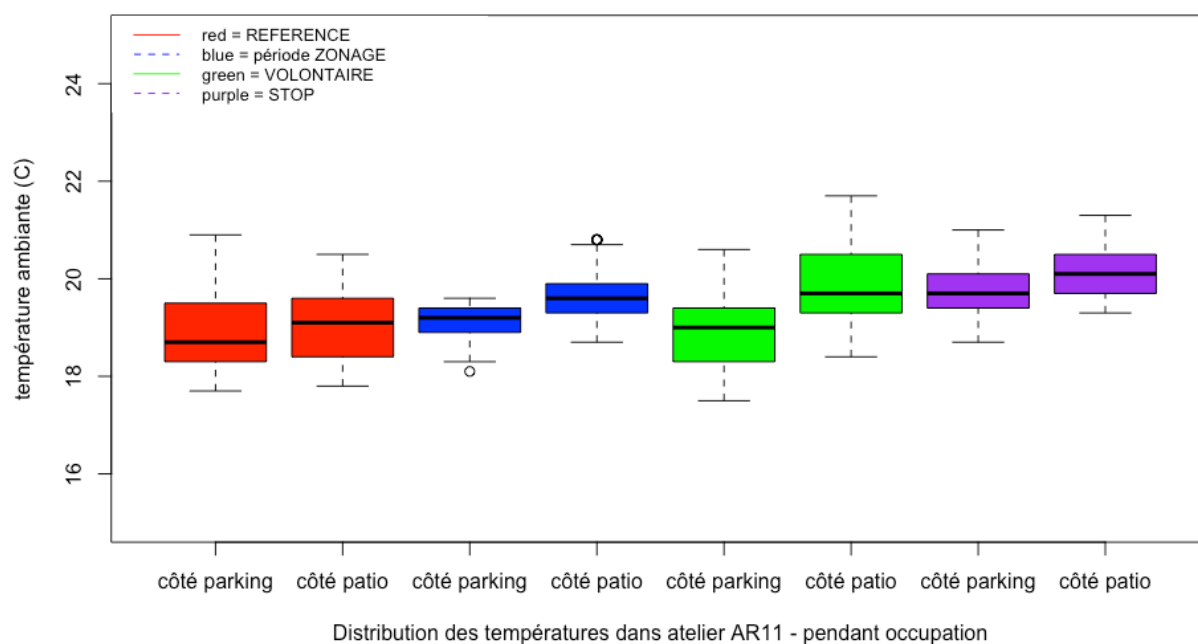


Figure 33 Distribution des températures dans l'atelier BAC AR11, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation.

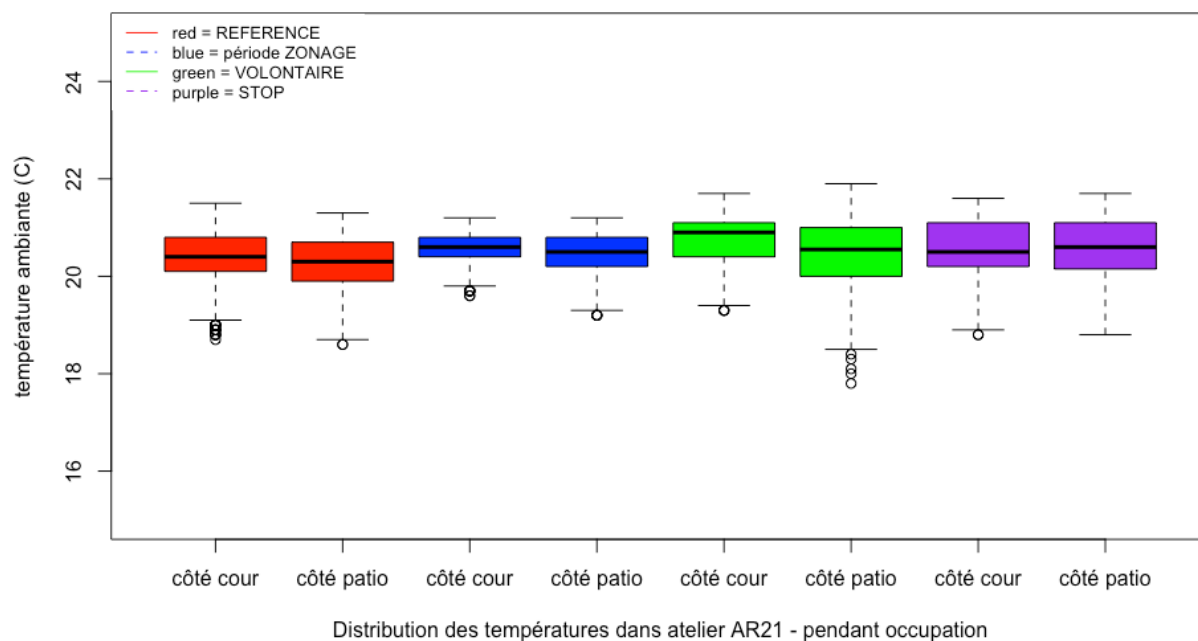


Figure 34 Distribution des températures dans l'atelier MASTER AR21, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation

Observations :

- Les températures n'ont pu être que très légèrement réduites dans l'atelier AR35 : 0.5°C en façade côté parking (orientée SSE), pas de modification significative au centre. Ces températures restent largement dans la plage de confort classique entre 20 et 22°C (Figure 29 et Figure 32)
- L'expérience n'a pas mené à une réduction des températures dans l'atelier AR11 (Figure 30 et Figure 33). On constate cependant que les températures sont relativement basses (entre 18 et 20°C). L'élévation progressive au fil de l'expérience peut être liée à l'influence croissante des gains solaires au fil du temps.
- Une augmentation de la différence de température entre façades de l'atelier AR11 est observée après le début de l'expérience. Cependant, c'est dans le sens d'une façade « patio » plus chaude que la façade « parking » (NNO), alors que l'effet inverse était attendu. Ce phénomène ne peut donc pas être attribué à l'expérience menée, et peut être liée par exemple à des pratiques d'ouverture de fenêtre sur la façade côté parking.
- Aucune modification de température n'est observée dans l'atelier AR21 (Figure 31 et Figure 34). La très légère tendance à l'élévation au fil du temps est probablement liée aux gains solaires non négligeables en fin d'hiver (la façade cour est orientée EEN). La plage de température rencontrée (19 à 21°C) restent largement dans la plage de confort classique.

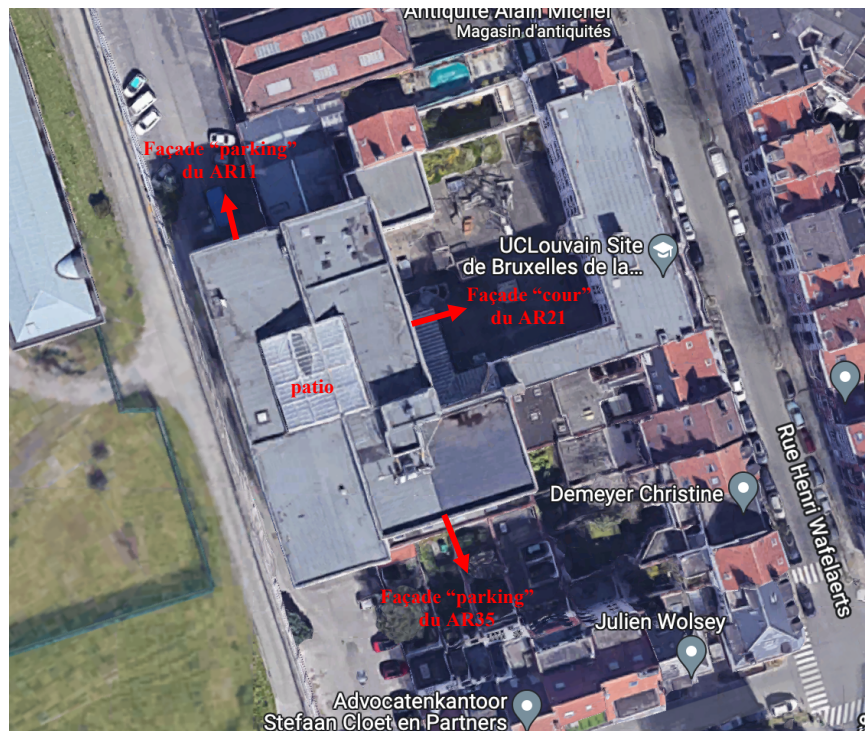


Figure 35 Orientation des façades des ateliers d'architecture

Ateliers - Confort et satisfaction

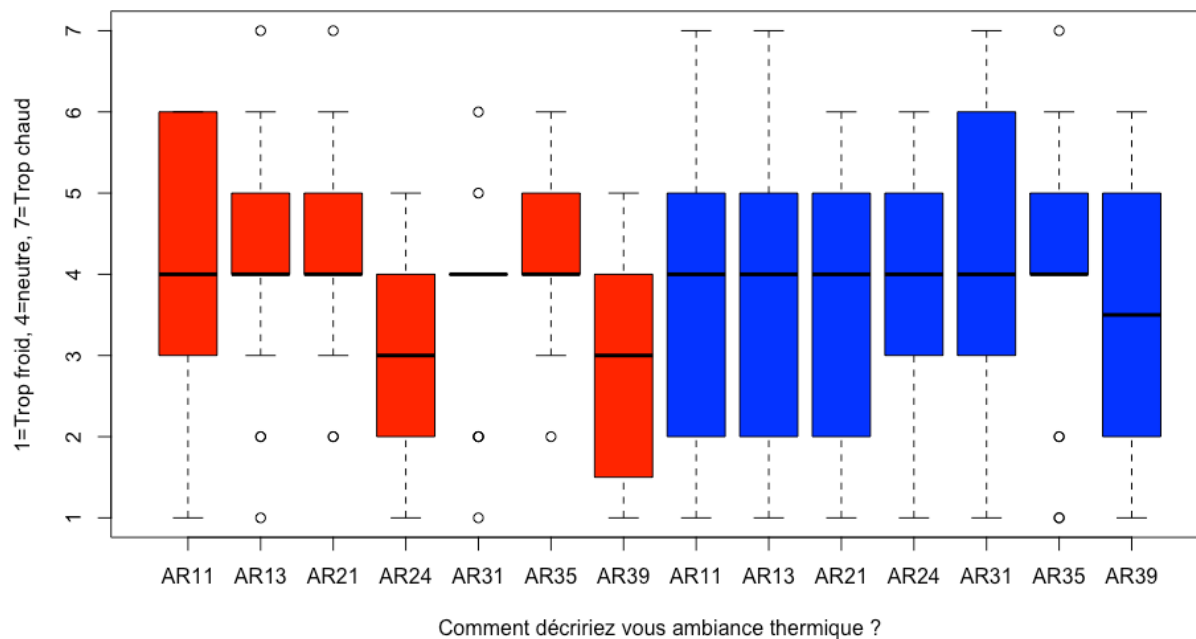


Figure 36 Distribution des votes de confort dans les différents ateliers, avant et après l'expérience

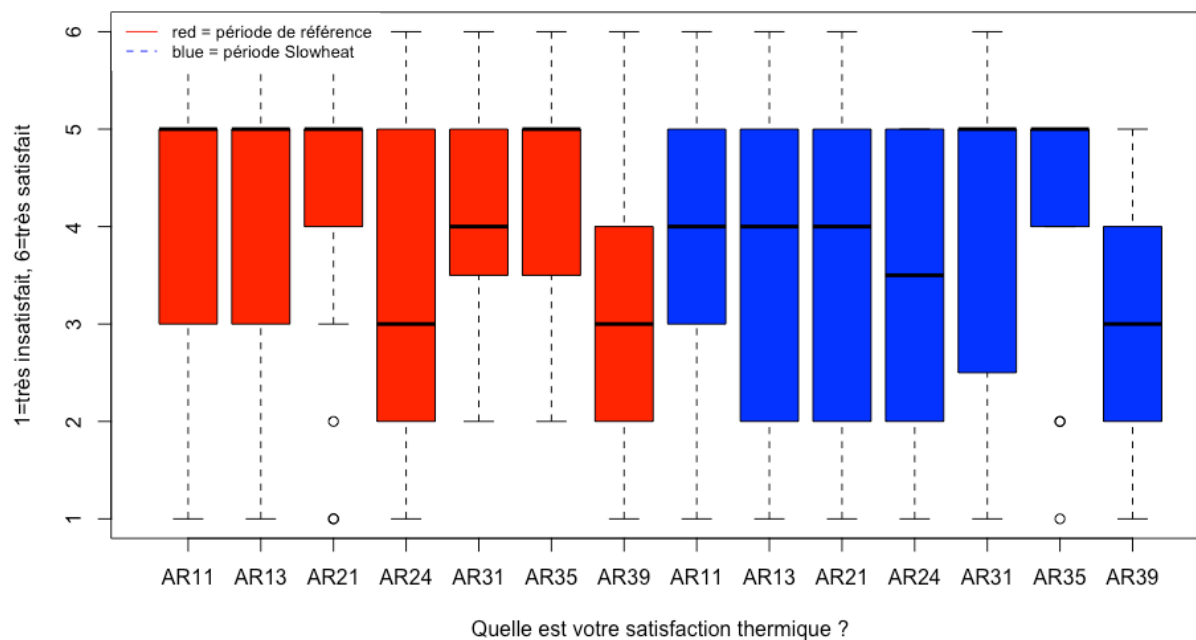


Figure 37 Distribution des votes de satisfaction dans les différents ateliers, avant et après l'expérience

Observations :

- Les votes montrent une ambiance perçue comme légèrement plus froide en fin d'expérience dans les ateliers AR11, AR13, AR21, malgré une élévation des températures dans les AR11 et AR21 (pas de mesures dans le AR13).
- Les votes montrent une ambiance perçue comme légèrement plus chaude en fin d'expérience dans les ateliers AR24 et AR39.
- Pas de tendance concluante dans les votes de confort pour les ateliers AR31 et AR35 .
- Les votes de satisfaction sont globalement positifs dans les ateliers, sauf AR24 et AR39, perçus comme froids.
- En fin d'expérience, la satisfaction thermique a baissé dans tous les locaux, sauf AR24, AR31 et AR35 (montée), et AR39 (stable). A noter que l'augmentation de la satisfaction dans le AR35 va de pair avec une réduction des températures (relativement élevées au départ), et que la réduction de la satisfaction dans le AR11 va de pair avec une élévation des températures, ce qui est contre-intuitif.
- La modification des satisfactions dans les ateliers AR13 et AR21 est principalement liée à une augmentation de la dispersion des votes.

Parallèlement aux votes, les commentaires suivants ont été collectés :

- « Dans l'auditoire du rez-de-chaussée, il faisait vraiment trop froid à mon goût. Également dans l'atelier AR-11, mais bien moins inconfortable que l'auditoire. »
- « Je ne suis vraiment pas d'un naturel frileux, je n'ai pas ressenti significativement les baisses de température et m'adapte beaucoup mieux au froid qu'au chaud, je ne suis sans doute pas le meilleur cobaye pour une telle expérience :-). Par contre j'ai remarqué que dans l'AR39, les radiateurs restaient très chauds alors que les vannes thermostatiques étaient au minimum. »
- « Il me semble que la température de l'atelier TFE éco/territoire où j'ai principalement résidé dépend très fortement de la météo extérieure: forts gains de chaleur en cas de soleil mais vite froid quand il fait froid et nuageux. Spontanément, je crois que de disposer d'un moyen de chauffe très facilement variable selon les conditions météo pourraient être une solution intéressante. Ressenti froid dans l'atelier au début de l'expérience et agréable avec un (bon) pull en fin d'expérience selon la météo. Si l'impact est significatif sur la consommation générale, c'est une expérience à approfondir! »
- De plus, les locaux d'atelier devraient rester correctement chauffés, plus que les auditoriums car on y reste toute la journée, voir la nuit. Certains jours au début de l'expérience on devait parfois mettre deux pulls et la fatigue accumulée des charrettes accentuant la sensation de froid pour beaucoup d'entre nous. »

Ateliers – Discussion

- Très peu d'impact de l'expérience sur les températures :
 - une intervention « par façades » ne permet pas de générer des gradients thermiques sensibles.
 - Les appels à action volontaire (période VOLONTAIRE) n'ont pas d'impact, montrant les limites des appels à la bonne gestion dans des espaces partagés.
 - Plus surprenant, la période STOP n'a pas d'impact non plus sur les températures, montrant les limites des moyens d'action mis à disposition des occupants des locaux (vannes non fonctionnelles, pertes de chaleurs liées aux boucles de circulation,...)
- Satisfaction globalement présente. De légères modifications apparaissent en cours d'expérience, mais parfois contre-intuitive parfois dans leurs tendances et difficilement corrélées aux légères évolutions de températures. Il s'agit principalement de résultats d'augmentation de la dispersion des votes.
- Les commentaires illustrent le caractère « sensible » de ces locaux pour les étudiants en architecture, avec la mise en évidence d'occupations nocturnes ou en situation de fatigue. Ces phénomènes sont difficilement anticipables et démontrent qu'en fonction de l'ensoleillement ou la fatigue pour ne citer qu'eux, les besoins sont très différents. Dans ces situations qui évoluent d'heure en heure, la seule personne à même de savoir ce dont elle est besoin, c'est l'occupant. Cela plaide donc pour rendre à l'occupant une maîtrise de son espace par divers moyens.

Auditoires

Auditoires – Température

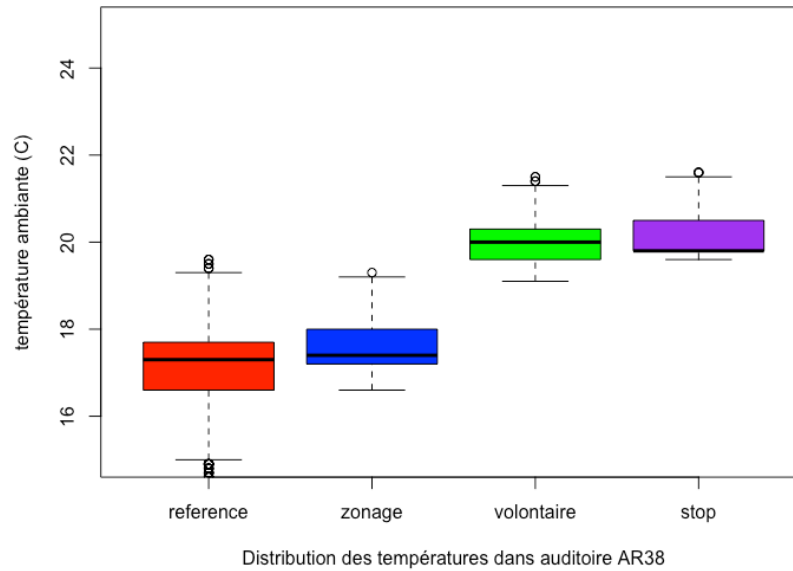


Figure 38 Distribution des températures dans l'auditoire AR38, selon les périodes d'expérience

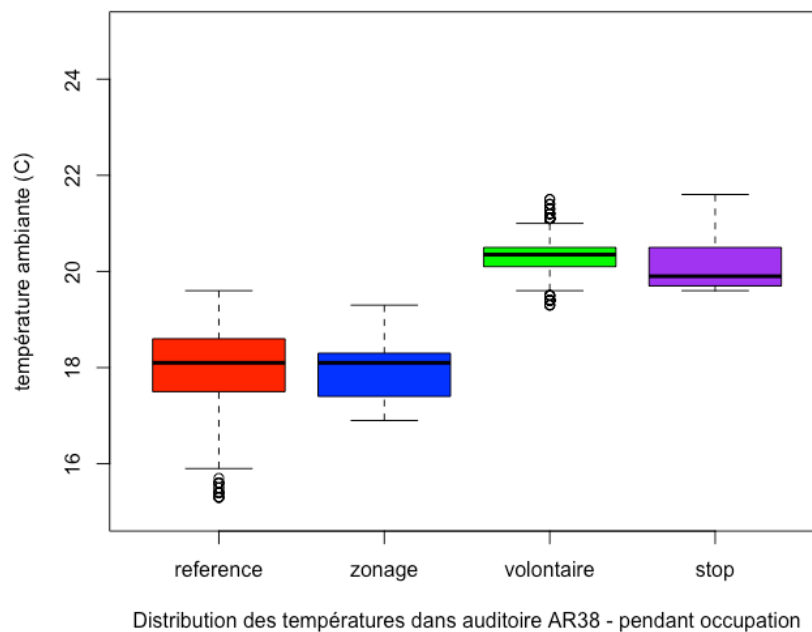


Figure 39 Distribution des températures dans l'auditoire AR38, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation

Observations :

- Les températures de références sont anormalement basses.
- Une plainte auprès du service technique (24/02/2022) a menée à une intervention sur la régulation et une élévation des températures.

Auditoires Confort et satisfaction

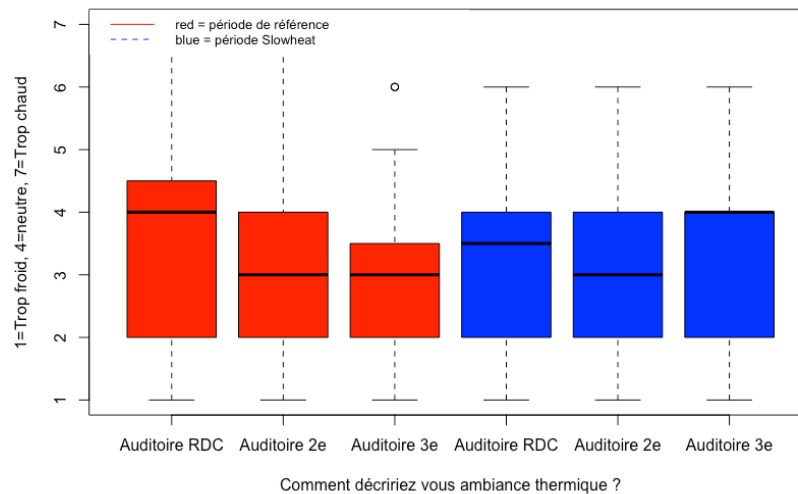


Figure 40 Distribution des votes de confort dans les différents auditoires, avant et après l'expérience

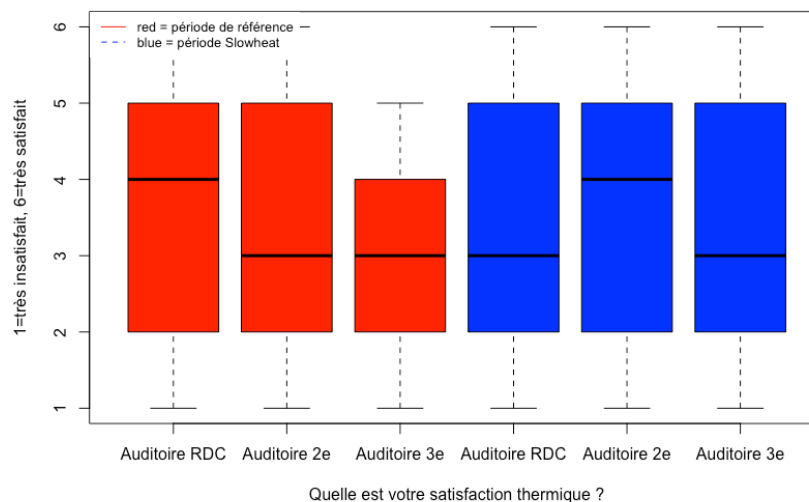


Figure 41 Distribution des votes de satisfaction dans les différents auditoires, avant et après l'expérience

Observations :

- Les auditoriums sont globalement considérés froids, en particulier aux 2^e et 3^e étages, une sensation légèrement améliorée en fin d'expérience pour le 3^e étage
- Grande variabilité des satisfactions, peu modifiée après l'expérience, si ce n'est une légère amélioration au 2^e et 3^e.

Parallèlement aux votes, les commentaires suivants ont été reçus (nous ne reprenons pas ici l'échange de mail spécifique lié au dysfonctionnement du système dans l'auditorium du 3^e étage, ayant mené à une intervention des services techniques) :

- « Les couloirs et salles de passages ne m'ont pas dérangé du tout mais pour les auditoriums j'ai trouvé cela inconfortable. Je n'enlevais du coup pas mes gants/manteau/écharpe en cours. »
- « En auditorium on ne sentait parfois plus nos mains »
- « Dans l'auditorium du rez-de-chaussée, il faisait vraiment trop froid à mon goût. Également dans l'atelier AR-11, mais bien moins inconfortable que l'auditorium. »

Auditoriums - Discussion

Pour rappel, cet auditorium ne font pas partie des espaces impactés par l'expérience Slowheat. Les commentaires illustrent la grande sensibilité des occupants de ces locaux et l'attente d'un niveau de température adéquat. Faute de capacité de bouger, ou de se réchauffer de toute autre manière, liée au type d'activité s'y déroulant, il semble évident qu'une température conforme aux plages traditionnellement considérées comme confortables pour une personne raisonnablement vêtue doit y être visée.

Autres espaces d'enseignement

Autres enseignement - Température

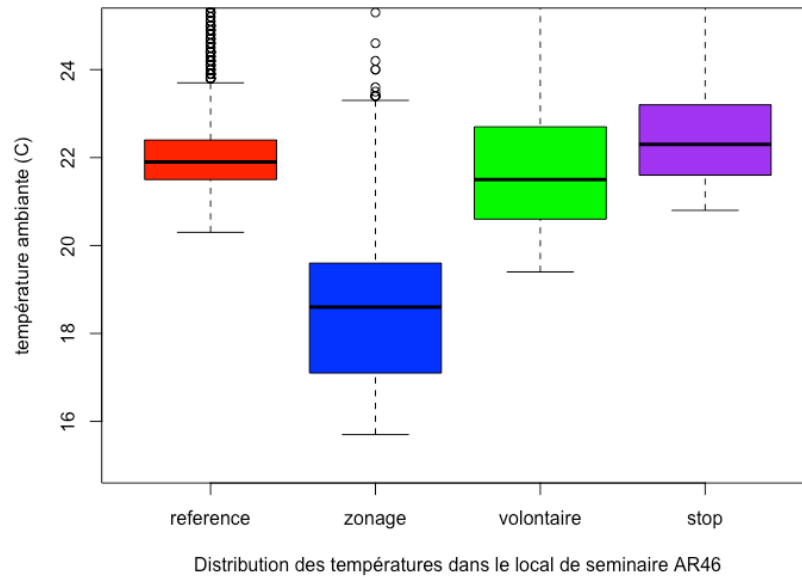


Figure 42 Distribution des températures dans la salle de séminaire AR46, selon les périodes d'expérience

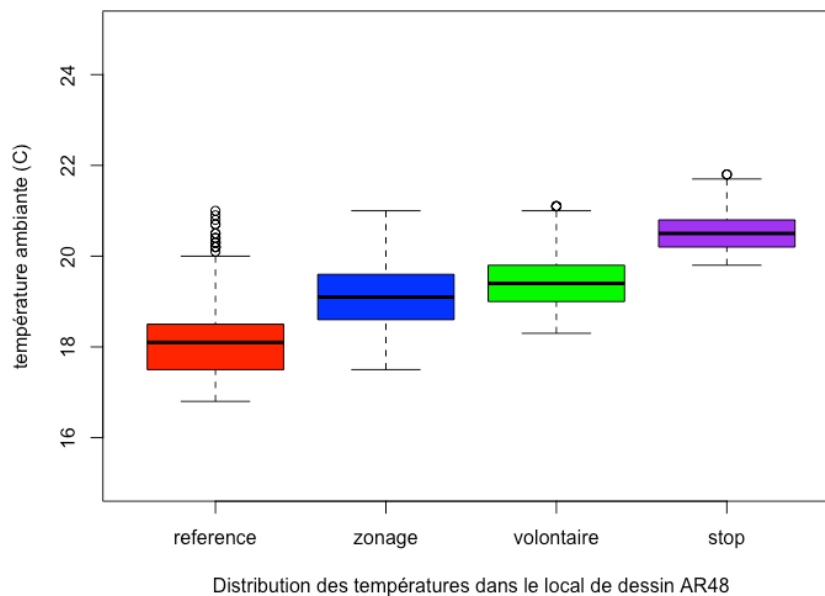
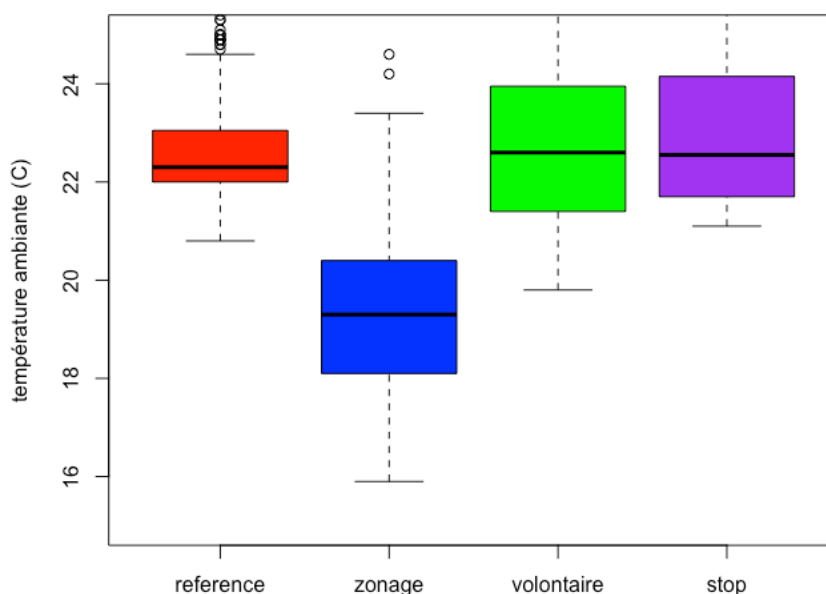
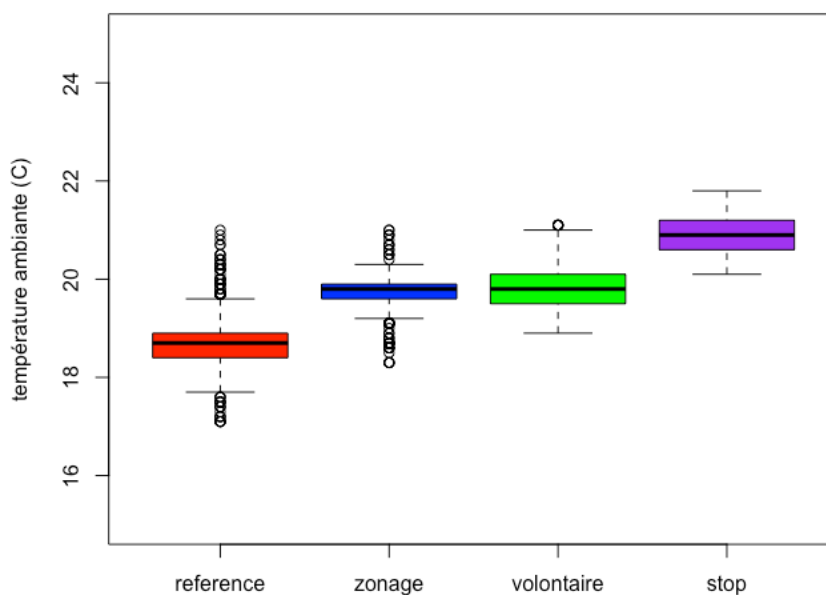


Figure 43 Distribution des températures dans la salle de dessin AR48, selon les périodes d'expérience



Distribution des températures dans le local de séminaire AR46 - pendant occupation

Figure 44 Distribution des températures dans la salle de séminaire AR46, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation



Observations :

- Pour la salle de séminaire AR46, forte réduction de températures lors de la période ZONAGE, puis retour à la « normale ». Les émetteurs n'ont pas été bloqué ici, seul le réglage des vannes avaient été modifié, ce qui laisse suggérer une intervention d'un utilisateur en inconfort. L'absence d'impact de la période STOP peut s'expliquer par les gains solaires auquel ce local est fortement exposé.
- Pour la salle de dessin AR48 : montée progressive des températures au fil de l'expérience. Des interventions de maintenance sur le système de chauffage pour lesquelles nous n'avons pas d'information expliquent probablement cela. La situation initialement jugée inconfortable avait donné lieu à des plaintes récurrentes des occupants. La température reste cependant en dessous des plages de confort classiques.

Autres enseignement - Confort et satisfaction

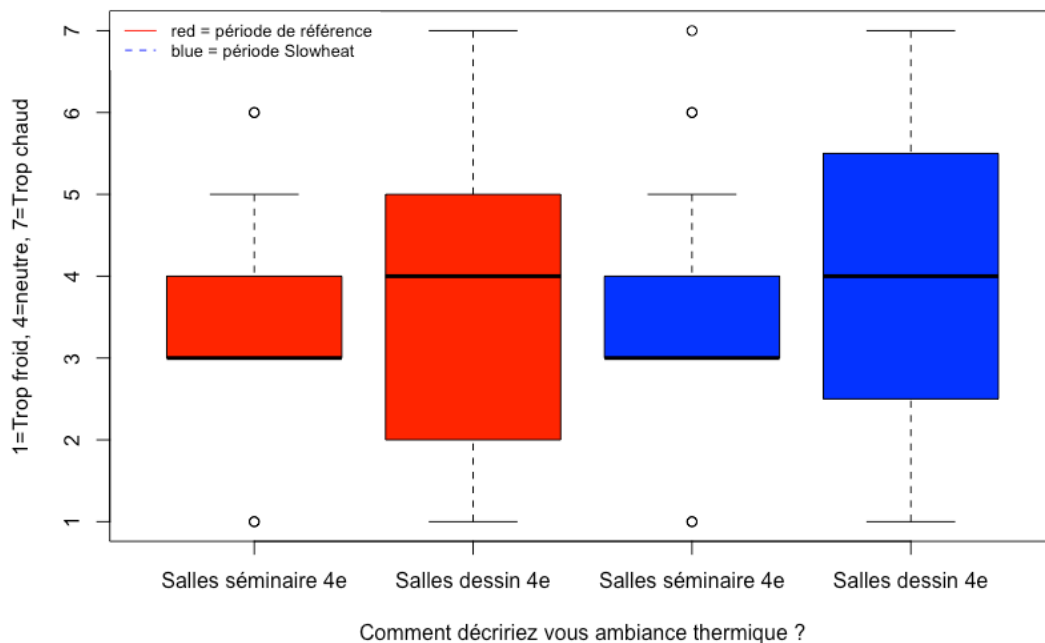


Figure 46 Distribution des votes de confort dans les salles d'enseignement, avant et après l'expérience

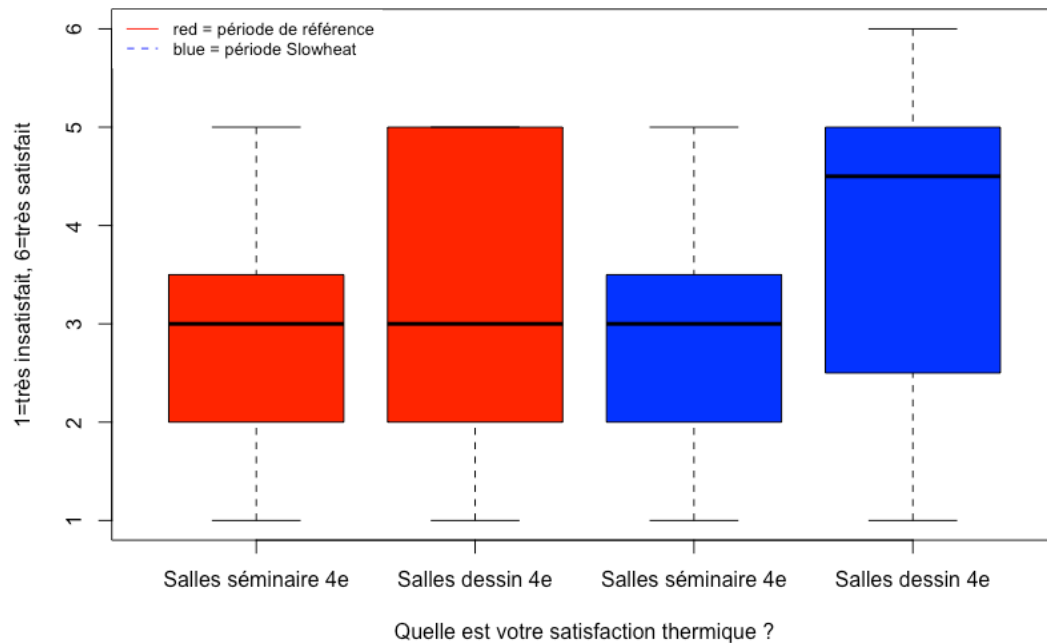


Figure 47 Distribution des températures dans les salles d'enseignement du 4e étage, selon les périodes d'expérience

Observations

- Peu d'éléments saillants, si ce n'est une augmentation notable de la satisfaction dans les salles de dessin. (Welch Two Sample t-test p-value = 0.9329)⁹.

Parallèlement aux votes, les commentaires suivants ont été reçus :

- « Le AR-48 est enfin chauffé par les radiateurs, le modèle vivant a utilisé le chauffeurette mais plus d'inconfort qu'avant. »

Autres enseignement - Discussion

- Les températures relativement basses dans la salle de dessin, par comparaison avec la salle de séminaire, mènent à une dispersion importante des votes de satisfaction, plus qu'à une réduction de la moyenne de ces votes. Cela illustre la variabilité de ressenti pour des ambiances « standard » et leur potentiel d'acceptabilité, pour autant que ceux en situation d'inconfort dans ces ambiances puissent disposer de moyens de correction adéquats.

⁹ Les votes de satisfaction présentent une distribution normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p = 0.001525 PRE et 0.01218 POST)

Autres espaces divers

Autres divers – Température

Les Figure 48 à Figure 51 montrent les distributions de températures dans les différents espaces concernés, toutes heures confondues.

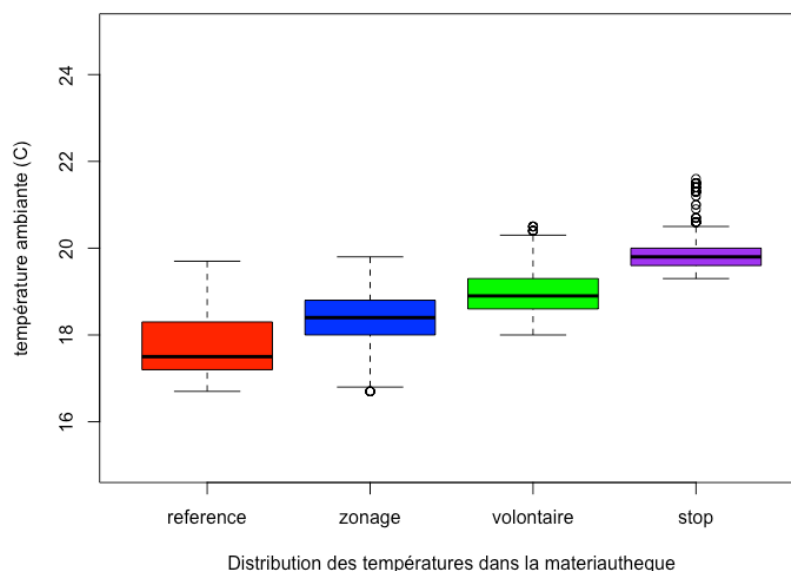


Figure 48 Distribution des températures dans la matériauthèque AR23, selon les périodes d'expérience

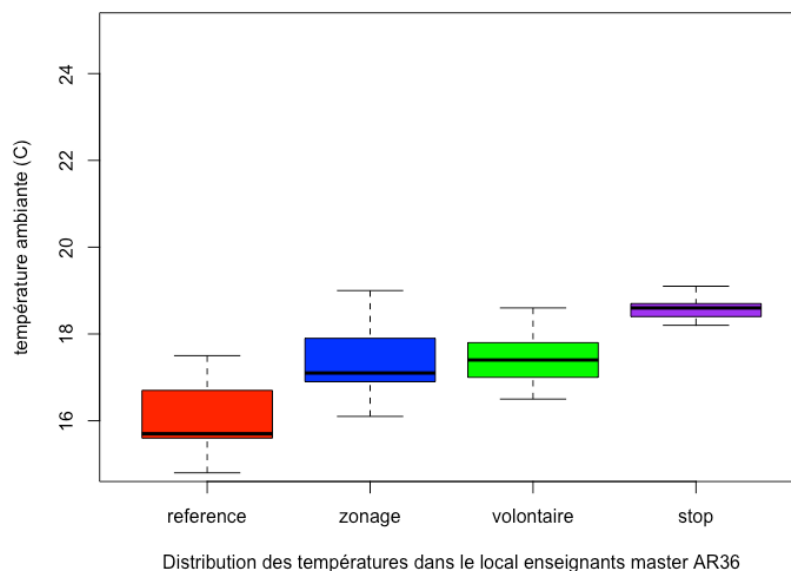


Figure 49 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR36, selon les périodes d'expérience.

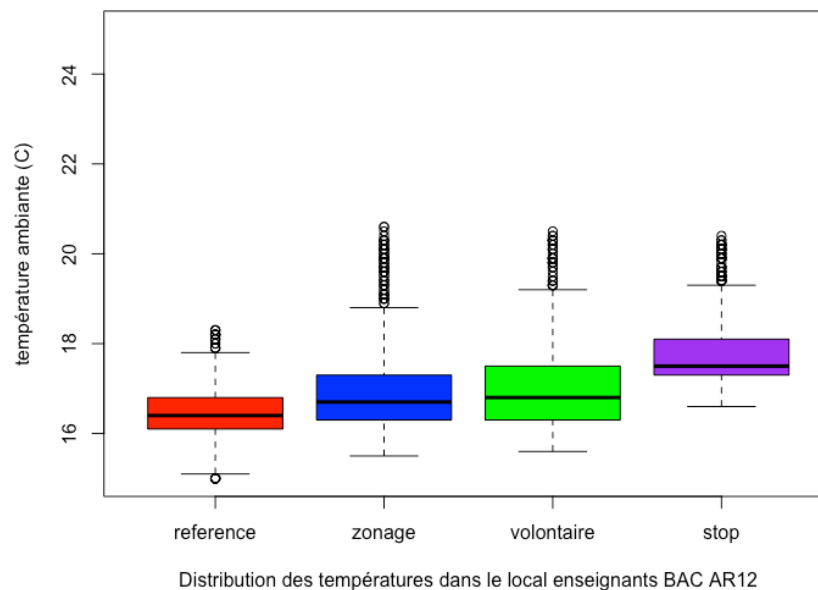


Figure 50 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR12, selon les périodes d'expérience.

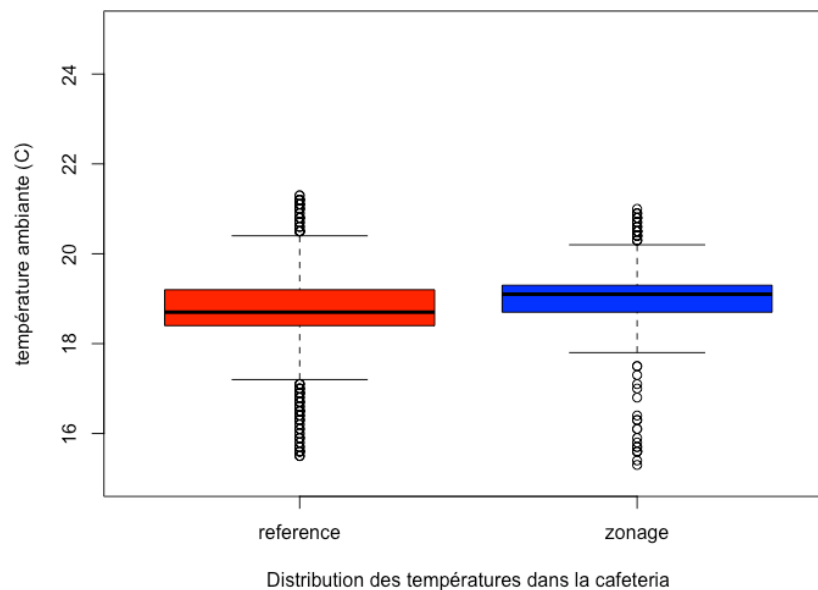


Figure 51 Distribution des températures dans la cafeteria, selon les périodes d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde).

Les Figure 52 à Figure 55 montrent les distributions de températures dans les différents espaces concernés, toutes heures confondues.

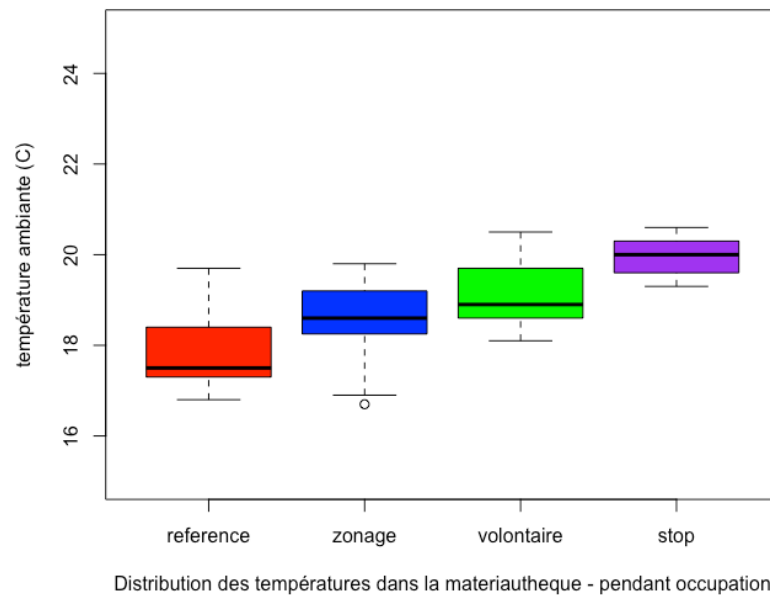


Figure 52 Distribution des températures dans la matériauthèque AR23, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation

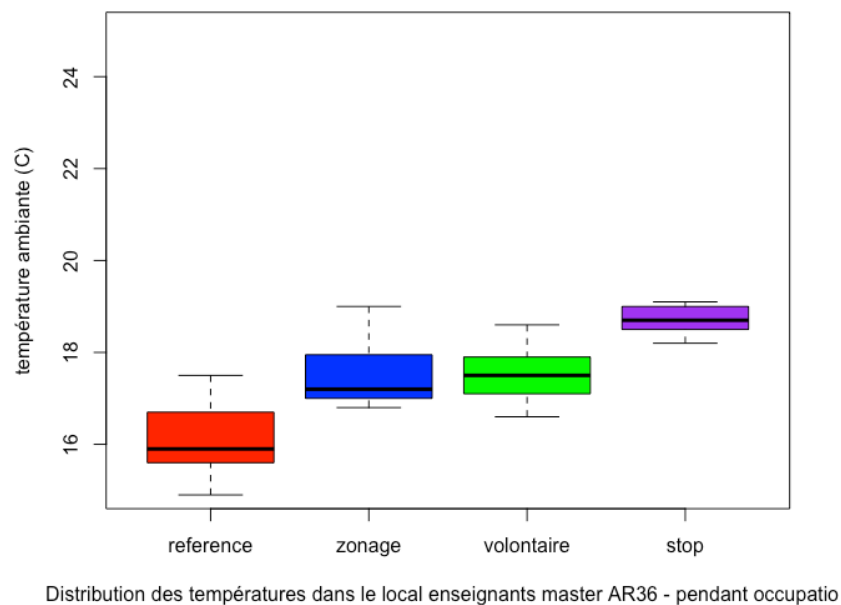
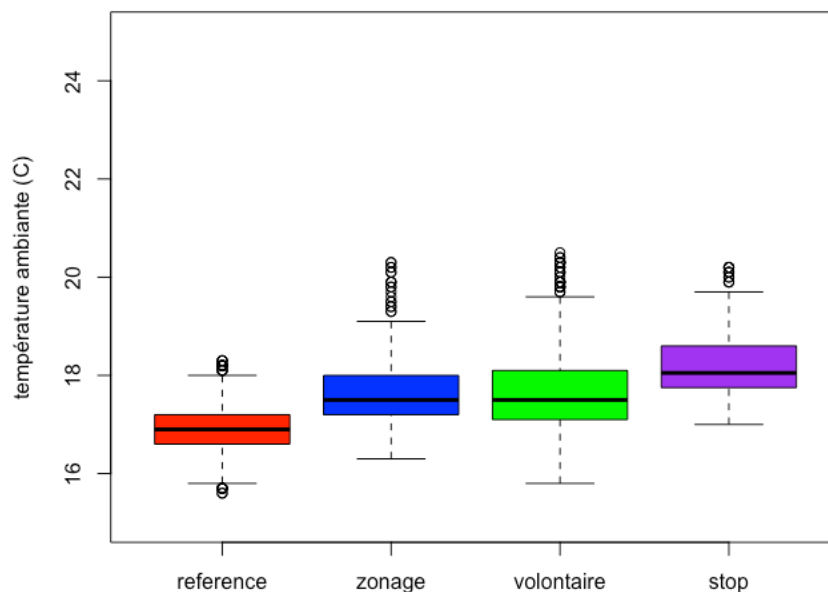
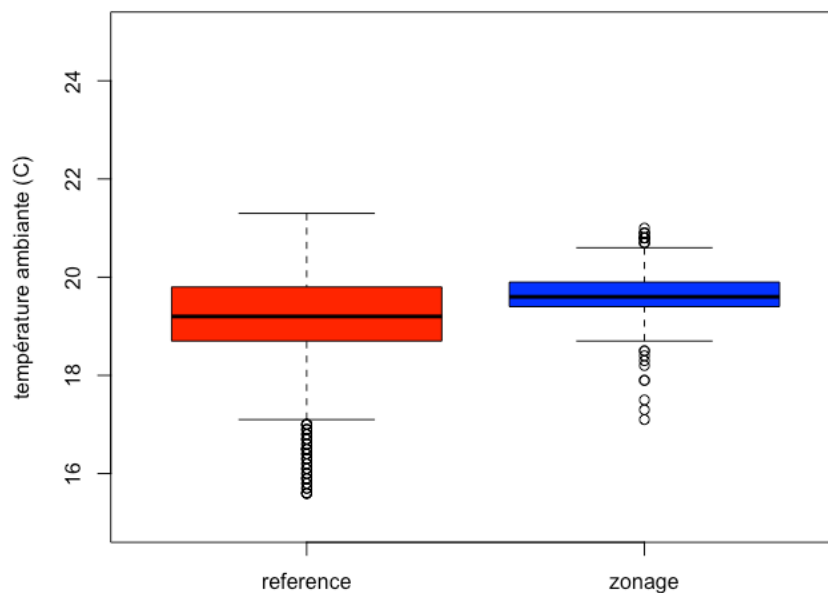


Figure 53 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR36, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.



Distribution des températures dans le local enseignants BAC AR12 - pendant occupation

Figure 54 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR12, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.



Distribution des températures dans la cafeteria - pendant occupation

Figure 55 Distribution des températures dans la cafeteria, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde).

Observations :

- Matériauthèque : Montée progressive des températures, malgré la fermeture de certains émetteurs (Figure 48 et Figure 52). La régularité de la montée peu laisser suggérer qu'elle est liée à l'augmentation des gains solaires au fil du temps. La température est cependant, sauf durant la période STOP, en dessous de la plage de confort traditionnelle.
- Local professeurs AR36 : similaire à la matériauthèque (Figure 49 et Figure 53).
- Local professeurs AR12 : similaire à matériauthèque, mais avec des températures sensiblement plus basses (Figure 50 et Figure 54)
- Pas d'impact sensible dans la cafétéria (Figure 51 et Figure 55). Résultat attendu vu la fermeture limitée à des émetteurs très périphériques. Températures constatées inférieures à la plage de confort traditionnelle.

Autres divers - Confort et satisfaction

note : les enquêtes de confort et satisfaction portent également sur des locaux pour lesquelles nous n'avons pas de relevé de température (notamment la bibliothèque et le local d'impression).

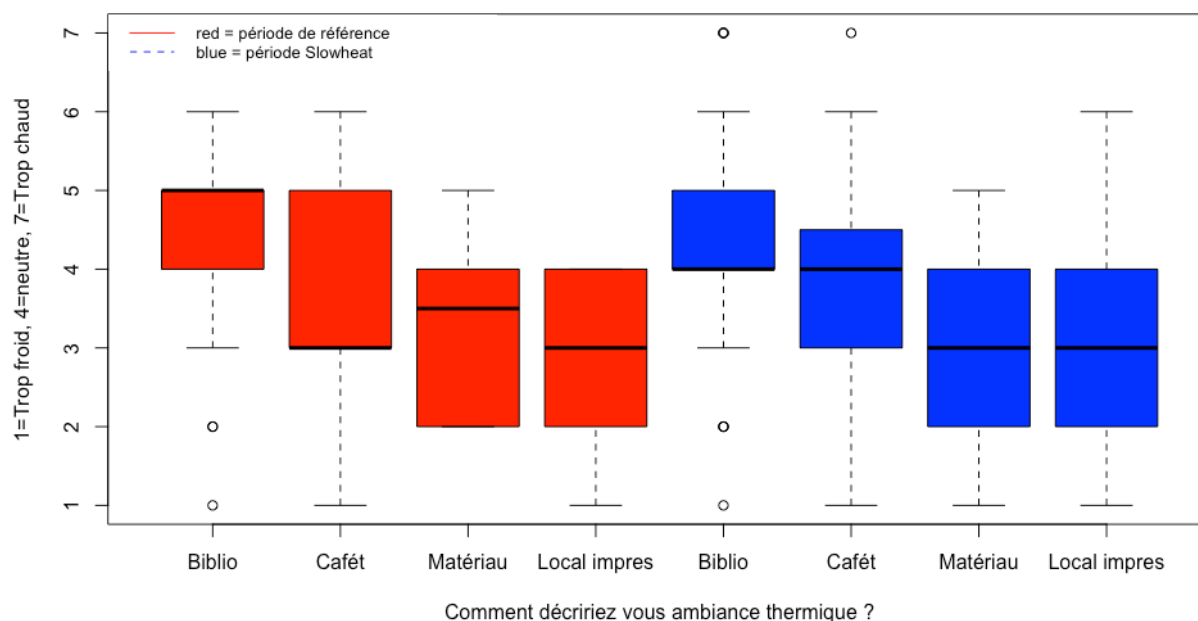


Figure 56 Distribution des votes de confort dans la bibliothèque, la cafétéria, la matériauthèque et la salle d'impression, avant et après l'expérience

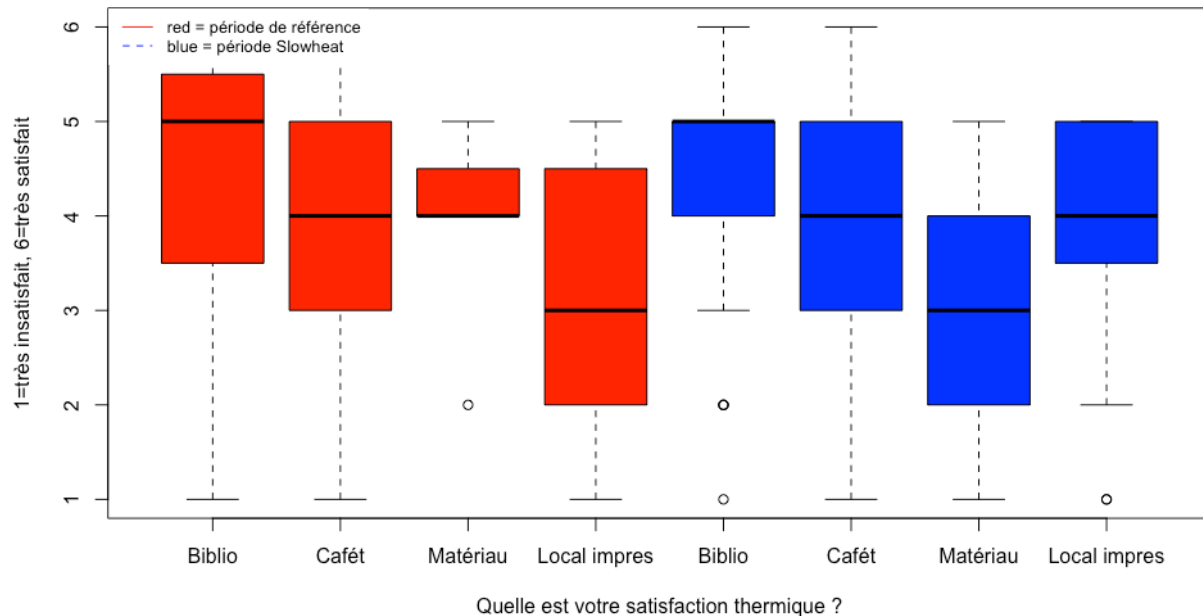


Figure 57 Distribution des votes de satisfaction dans la bibliothèque, la cafétéria, la matériauthèque et la salle d'impression, avant et après l'expérience

Observations :

- Peu de modification des votes de confort et satisfaction, sauf :
 - une réduction significative de la satisfaction dans la matériauthèque. (Welch Two Sample t-test p-value = 0.9293)¹⁰. Cette tendance est contre-intuitive vu l'augmentation des températures sur la période (Figure 48). La non normalité des réponses POST incite à la prudence sur cette observation.
 - une augmentation significative de la satisfaction dans le local d'impression. (Welch Two Sample t-test p-value = 0.948)¹¹.

Parallèlement aux votes, les commentaires suivants ont été reçus :

- « Je n'ai pas senti la différence. Sauf que le local d'archives du 1er étage (salle des profs) est tjrs froid. »

¹⁰ Les votes de satisfaction présentent une distribution proche de la normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p = 0.00981 PRE et 0.7518 POST).

¹¹ Les votes de satisfaction présentent une distribution normale selon le test Shapiro-Wick (valeur p = 0.05401 PRE et 6.228e-05 POST).

- « Je travaille à la bibliothèque et nous sommes privés de chauffage depuis deux ans dans la salle des revues ! Nous ne pouvons pas diminuer le chauffage de nos locaux car ils fonctionnent mal - de plus, travailler, lire ou étudier dans le froid est très inconfortable.

Autres divers – Discussion

- Les niveaux de satisfaction sont globalement élevés, notamment dans des locaux où les températures sont basses (cafétéria et matériauthèque).

Conclusions générales

Malgré les difficultés rencontrées (vols et mauvaises manipulation de sondes + incapacité d'intervention sur certains émetteurs) et le fait que l'expérience n'ait pas permis une réelle prise de contrôle sur les températures intérieures, quelques conclusions peuvent être tirées :

- Une économie d'énergie non négligeable est constatée durant l'expérience (odg. 29 EUR/jour). S'il est difficile de savoir quelle part est attribuable à celle-ci, il semble raisonnable d'imaginer que la fermeture complète d'un nombre conséquent d'émetteurs thermiques dans le bâtiment, ainsi que l'alignement des vannes thermostatiques ou autres organes de contrôle de l'intégralité des autres est à l'origine d'une partie de cette économie. Parallèlement, une gestion apparemment inadéquate du système de chauffage (chauffage généralisé de nuit et WE) suggère un potentiel d'économie de max 3500 EUR/mois.
- La fermeture partielle des émetteurs d'un même local afin de créer des gradients ne semble pas une piste à poursuivre. L'importance des brassages d'air dans le bâtiment uniformise les températures au sein d'un même espace.
- Il y a une forte adhésion à l'idée de ne plus chauffer les espaces de circulation en dehors d'événements ponctuels : les températures basses n'y sont pas associées à des insatisfactions et les commentaires encouragent à poursuivre dans cette voie.
- Les ateliers d'architecture et auditoires montrent leur caractère sensible sur la question du confort. Ceci malgré un potentiel a priori important pour des actions d'adaptation individuelles dans les ateliers, et la mise à disposition d'équipement d'appoint. Il est probable que le matériel mis à disposition n'était pas adéquat. La pertinence de ce type de solution mérite d'être discutée dans des espaces partagés.
- Pour les autres locaux, des températures relativement basses ne sont pas forcément jugées moins satisfaisantes en moyennes, mais génèrent plus de dispersion dans les votes de satisfaction, signe de la diversité des ressentis et de la non automaticité de la relation froid – insatisfaction (cfr. cafétéria, bibliothèque et espaces de circulation)
- Les commentaires indiquent que le manque de contrôle des occupants sur les ambiances génère à la fois des frustrations, des inconforts localisés et inhibe les efforts d'économie d'énergie. L'exemple du AR46 montre qu'un réglage « vertueux » n'est maintenu dans le temps que pour une durée limitée.
- Globalement, l'expérience a reçu un accueil favorable et montre la présence d'une réelle motivation chez une partie des occupants. Cependant, on semble dans certains espaces déjà toucher aux limites d'acceptabilité. On peut en déduire les températures minimales rencontrées dans le bâtiment (o.d.g 18°C) comme un seuil de ce qui peut être atteint sans modification des habitudes et/ou des systèmes thermiques.

Recommandations

Sur base du déroulement de l'expérience et des conclusions tirées, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- Au niveau des systèmes thermiques de ce bâtiment
 - Adapter la gestion actuelle afin de permettre un arrêt complet du chauffage la nuit et les WE (période de relance à déterminer)
 - Augmenter la capacité de contrôle global de l'installation par l'ajout de thermostats contrôlant des vannes trois voies mélangeuses (faisabilité, nombre et positions à définir sur base du détail du circuit hydraulique). L'ajout de compteurs intermédiaires (typiquement, un par bâtiment), pourrait également être considéré.
 - Vérifier la capacité de contrôle par les occupants en vérifiant le bon fonctionnement des équipements de réglage de l'ensemble des émetteurs (procédure type : lors d'une période hivernale d'inoccupation, placer toutes les organes de contrôle sur une position d'arrêt et s'assurer après un temps suffisant pour dissiper la chaleur accumulée que ceux-ci sont effectivement froids)
 - Augmenter les moyens d'action pour les occupants, pour permettre une gestion en fonction des besoins, mais sélectionner ces moyens selon le principe de « demande temporaire de chaleur ».
 - Renoncer au chauffage constat des espaces de circulation, grâce à la suppression des émetteurs actuels¹².

¹² ou leur limitation de puissance par des vannes institutionnelles réglées sur des températures basses

Suites

Les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre de cette expérience incitent pour la suite à ce concentrer sur des espaces mieux maîtrisables. Il s'agit donc d'identifier des ensembles de locaux plus limités en taille et accueillant un groupe plus restreint d'utilisateurs. Les espaces de bureaux du bâtiment avant du même site de Saint-Gilles constituent à ce titre un espace intéressant. L'absence d'apport de chaleur par ventilation mécanique et le cloisonnement en plus petits locaux permet d'y envisager une meilleure capacité d'action sur les températures intérieures.

Dans ces conditions, une mise à disposition plus large d'équipements d'appoints, à tester dans des locaux permettant une appropriation réelle est envisageable.

Remerciements

Nous souhaitons exprimer nos plus vifs remerciements aux soutiens de ce projets, à savoir :

- la Fédération Wallonie-Bruxelles au travers de l'appui financier de l'ARES, dans le cadre de l'appel à projets « Développement Durable » 2022,
- les autorités de la faculté LOCI et de l'Institut LAB pour avoir encouragé la réalisation de ce projet,
- les autorités rectores de l'UCLouvain au travers du Plan Transition dans lequel s'inscrit ce projet.

Et bien sûr un grand merci à l'ensemble de la communauté des occupants du site de Saint-Gilles pour leur enthousiasme et participation à cette expérience.

Liste des figures

Figure 1 Exemple de radiateur isolé en phase ZONAGE (ici dans le sas d'entrée de la cafétéria) . - 4 -	- 4 -
Figure 2 Exemple de ventilo-convecteur isolé en phase ZONAGE (ici dans le couloir du 4e étage)	- 4 -
Figure 3 Calibration des sondes de températures.....	- 7 -
Figure 4 Exemple de mise en situation d'un enregistreur de température, ici dans un atelier d'architecture.....	- 8 -
Figure 5 Photo du lecteur optique sur le compteur gaz	- 11 -
Figure 6 Electric radiant heater JHS-1500RS	- 12 -
Figure 7 Radiant portatif VEGA 1200W	- 12 -
Figure 8 Prises avec minuteur ANSMANN AES1	- 13 -
Figure 9 Consommation de gaz par heure pour toute la période de relevé	- 14 -
Figure 10 Distribution des consommations par jour de la semaine, pour toute la période relevée.. - 14 -	- 14 -
Figure 11 Distribution des consommations de gaz horaire selon l'heure de la journée, pour toute la période de relevé	- 14 -
Figure 12 Consommation quotidienne de gaz comparée à la température moyenne journalière, par période	- 15 -
Figure 13 Plages de consommations d'énergie par période d'expérience, en regard des températures extérieures sur la période. Attention, les valeurs pour la période VOLONTAIRE ne portent que sur 3 jours et sont donc peu fiables.	- 15 -
Figure 14 Distribution des votes de confort avant et après l'expérience, pour le bâtiment en général	- 17 -
Figure 15 Distribution des expressions de satisfaction avant et après l'expérience, pour le bâtiment en général	- 17 -
Figure 16 Distribution des niveaux d'habillement avant et après l'expérience	- 18 -
Figure 17 Évolution des températures dans les ateliers pendant la période de référence.	- 22 -
Figure 18 Distribution des températures dans la palmeraie, par période d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)	- 23 -
Figure 19 Distribution des températures dans le couloir du 2 ^{ème} étage, par période d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)	- 23 -
Figure 20 Distribution des températures dans le couloir du 4 ^{ème} étage, par période d'expérience. . - 23 -	- 23 -
Figure 21 Distribution des températures dans l'escalier principal, par période d'expérience. . - 24 -	- 24 -
Figure 22 Distribution des températures dans la palmeraie, par période d'expérience – durant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)- 24 -	- 24 -
Figure 23 Distribution des températures dans le couloir du 2 ^{ème} étage, par période d'expérience – durant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde)	- 24 -
Figure 24 Distribution des températures dans le couloir du 4 ^{ème} étage, par période d'expérience – durant l'occupation.....	- 25 -

Figure 25 Distribution des températures dans l'escalier principal, par période d'expérience – durant l'occupation.....	- 25 -
Figure 26 Distribution des votes de confort dans les espaces de circulation, avant et après l'expérience.....	- 27 -
Figure 27 Distribution des votes de satisfaction dans les espaces de circulation, avant et après l'expérience.....	- 27 -
Figure 28 Distribution des réponses à la question relative à la gestion future des ambiances dans les espaces de circulation.....	- 28 -
Figure 29 Distribution des températures dans l'atelier Master 2 AR35, selon les périodes d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurées (mauvaise manipulation des sondes).....	- 30 -
Figure 30 Distribution des températures dans l'atelier BAC AR11, selon les périodes d'expérience.....	- 31 -
Figure 31 Distribution des températures dans l'atelier MASTER AR21, selon les périodes d'expérience.....	- 31 -
Figure 32 Distribution des températures dans l'atelier Master 2 AR35, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurées (mauvaise manipulation des sondes).....	- 32 -
Figure 33 Distribution des températures dans l'atelier BAC AR11, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation.....	- 33 -
Figure 34 Distribution des températures dans l'atelier MASTER AR21, selon les périodes d'expérience, en période d'occupation.....	- 33 -
Figure 35 Orientation des façades des ateliers d'architecture.....	- 34 -
Figure 36 Distribution des votes de confort dans les différents ateliers, avant et après l'expérience.....	- 35 -
Figure 37 Distribution des votes de satisfaction dans les différents ateliers, avant et après l'expérience.....	- 35 -
Figure 38 Distribution des températures dans l'auditoire AR38, selon les périodes d'expérience.....	- 38 -
Figure 39 Distribution des températures dans l'auditoire AR38, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.....	- 38 -
Figure 40 Distribution des votes de confort dans les différents auditoires, avant et après l'expérience.....	- 39 -
Figure 41 Distribution des votes de satisfaction dans les différents auditoires, avant et après l'expérience.....	- 39 -
Figure 42 Distribution des températures dans la salle de séminaire AR46, selon les périodes d'expérience.....	- 41 -
Figure 43 Distribution des températures dans la salle de dessin AR48, selon les périodes d'expérience.....	- 41 -
Figure 44 Distribution des températures dans la salle de séminaire AR46, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.....	- 42 -
Figure 45 Distribution des températures dans la salle de dessin AR48, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.....	- 42 -

Figure 46 Distribution des votes de confort dans les salles d'enseignement, avant et après l'expérience	- 43 -
Figure 47 Distribution des températures dans les salles d'enseignement du 4e étage, selon les périodes d'expérience.....	- 44 -
Figure 48 Distribution des températures dans la matériauthèque AR23, selon les périodes d'expérience	- 45 -
Figure 49 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR36, selon les périodes d'expérience.....	- 45 -
Figure 50 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR12, selon les périodes d'expérience.....	- 46 -
Figure 51 Distribution des températures dans la cafeteria, selon les périodes d'expérience. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde).....	- 46 -
Figure 52 Distribution des températures dans la matériauthèque AR23, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.....	- 47 -
Figure 53 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR36, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.	- 47 -
Figure 54 Distribution des températures dans le local d'enseignants master AR12, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation.	- 48 -
Figure 55 Distribution des températures dans la cafeteria, selon les périodes d'expérience, pendant l'occupation. Les périodes VOLONTAIRE et STOP n'ont pas pu être mesurée (vol de sonde). ...	- 48 -
Figure 56 Distribution des votes de confort dans la bibliothèque, la cafétéria, la matériauthèque et la salle d'impression, avant et après l'expérience	- 49 -
Figure 57 Distribution des votes de satisfaction dans la bibliothèque, la cafétéria, la matériauthèque et la salle d'impression, avant et après l'expérience	- 50 -

Annexe : Questionnaire distribué le 20 mars

Bonjour,

Ce questionnaire fait partie de l'expérience Slowheat@LOCI, menée avec le support de l'ARES, de la Fédération Wallonie Bruxelles et du plan transition de l'UCLouvain. Plus d'info sur <https://www.slowheat.org/loci>.

Il comporte 18 questions. Y répondre devrait vous prendre moins de 10 minutes.

Il vise à quantifier le confort et la satisfaction des utilisateurs du bâtiment arrière du site LOCI St Gilles, leurs habitudes vestimentaires, et les suites à donner à l'expérience Slowheat.

Les réponses au questionnaire sont anonymes. Les données collectées, notamment au travers des champs ouverts, seront traitées dans le respect des règles de protection de la vie privée définies par le RGPD. En particulier, toute réponse permettant de déduire l'identité d'un.e participant.e sera anonymisée avant traitement et diffusion des résultats. Les résultats de l'enquête seront conservés en conformité avec les protocoles internes à l'UCLouvain (voir la page Research Data Management sur le portail de l'UCLouvain).

Les résultats agrégés seront diffusés via la site web référencé ci-dessus.

En grand merci pour votre participation.

Geoffrey van Moeseke

Il y a 18 questions dans ce questionnaire.

A/ Identification

Vous êtes : Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous. Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre :'. Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- étudiant
- enseignant
- Autre

B/ Confort

Comment décririez-vous l'ambiance thermique des locaux suivants au cours des semaines d'expérience Slowheat ? Il s'agit ici de décrire l'ambiance, et non votre (in)satisfaction relative à cette ambiance, qui fera l'objet de la question suivante. Il est par exemple possible que pour deux locaux que vous décririez comme "chauds", votre satisfaction par rapport à l'ambiance soit différente : satisfait dans un cas, légèrement insatisfait dans l'autre, pour différentes raisons telles que l'activité dans ces locaux, le moment où vous les fréquentez, etc.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	très froide	froide	fraiche	neutre	tiède	chaude	très chaude	je n'ai pas ou peu fréquenté ce local cette semaine
Bâtiment en général								
Hall d'entrée								
Espaces de circulation (couloirs et escaliers)								
Cafétéria								
Bibliothèque								
Matériauthèque								
Local d'impression								
Atelier d'architecture AR11 (bac1-2)								
Atelier d'architecture AR13 (bac1-2)								
Atelier d'architecture AR21 (bac3)								
Atelier d'architecture AR31 (ma1)								
Atelier d'architecture AR35 (TFE Eco et Territoire)								
Salle de séminaire AR24 (TFE Typo)								
"Autobus" AR39 (TFE Patrimoine)								
Auditoire rez-de-chaussée								
Auditoire 2ème étage								
Auditoire 3ème étage								
Salles de dessin 4e								
Salles de séminaire 4e								

C/ Satisfaction

Comment jugez-vous l'ambiance thermique des locaux suivants au cours des semaines d'expérience Slowheat ? Contrairement à la question précédente, il s'agit bien ici de votre degré de satisfaction, basé sur votre ressenti. Répondez donc sur base de votre propre sensibilité et de vos préférences personnelles.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

		très inconfortable	inconfortable	tout juste inconfortable	tout juste confortable	confortable	très confortable	je n'ai pas ou peu fréquenté ce local cette semaine
Bâtiment en général	en							
Hall d'entrée								
Espaces de circulation (couloirs et escaliers)	de et							
Cafétéria								
Bibliothèque								
Matériauthèque								
Local d'impression								
Atelier d'architecture AR11 (bac1-2)								
Atelier d'architecture AR13 (bac1-2)								
Atelier d'architecture AR21 (bac3)								
Atelier d'architecture AR31 (ma1)								
Atelier d'architecture AR35 (TFE Eco et Territoire)								

	très inconfortable	inconfortable	tout juste inconfortable	tout juste confortable	confortable	très confortable	je n'ai pas ou peu fréquenté ce local cette semaine
Salle de séminaire AR24 (TFE Typo)							
"Autobus" AR39 (TFE Patrimoine)							
Auditoire rez-de- chaussée							
Auditoire 2ème étage							
Auditoire 3ème étage							
Salles de dessin 4e							
Salles de séminaire 4e							

D/ Habillement

Comment décririez-vous votre tenue "type" au cours des semaines d'expérience SLOWHeat ? Répondez pour chaque partie du corps.

1) Vêtement haut du corps visible :

Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre : '.

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- blouse ou chemise
- pull moyen ou sweat shirt
- pull chaud
- plusieurs pull superposés
- manteau
- Autre

2) Vêtement haut du corps sous le vêtement visible :

*sans compter le vêtement visible *

Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- une couche manches courtes (exemple : tshirt, top, blouse, ...)
- une couche manches longues
- deux couches superposées (peu importe la longueur des manches)
- trois couches superposées ou plus
- Autre

3) Vêtement bas du corps visible : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- pantalon léger/moyen
- pantalon chaud
- jupe courte
- jupe longue
- Autre

4) Vêtement bas du corps sous le vêtement visible :

*en plus du sous-vêtement et sans compter le vêtement visible *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- rien
- collant
- Autre

5) Chaussures : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- à semelle fine
- à semelle épaisse
- Autre

6) Chaussettes : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- chaussettes fines
- chaussettes épaisses (type chaussette de ski)
- plusieurs épaisseurs de chaussettes
- Autre

7) Col : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre :'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- rien
- tour de cou
- châte
- écharpe
- Autre

8) Mains : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre :'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- rien
- gants
- mitaines
- Autre

9) Tête : *

Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Au besoin, veuillez préciser le champ 'Autre :'.

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- rien
- bonnet
- casquette
- voile
- Autre

E/ Retour d'expérience

Les questions ci-dessous portent sur le bâtiment arrière uniquement.

1. Diriez-vous que les expériences menées ces dernières semaines sur la température intérieure sont à prolonger pour réduire l'empreinte environnemental de la faculté ? Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :
 - Oui
 - Non

2. Diriez-vous que d'éventuelles nouvelles expériences doivent être plus ambitieuses (réduire plus fortement les températures de certains lieux par exemple) ? Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :
 - Oui
 - Non

3. Les espaces de circulations (hall d'entrée, escalier, couloirs) sont ceux où la température a le plus baissé pendant les expériences de ces dernières semaines. Quelle suite envisager pour ces espaces ? Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent :
 - Les équiper pour qu'ils soient à la même température que les autres locaux.
 - Faire en sorte qu'ils soient chauffés mais à une température légèrement plus faible que les autres locaux.
 - Ne plus les chauffer du tout, sauf situation exceptionnelle (exposition, cocktail,...).
4. Estimez-vous avoir suffisamment de contrôle sur l'ambiance des locaux que vous fréquentez ? Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :
 - Oui
 - Non
5. Quelle a été votre utilisation de chauffages d'appoints à LOCI ces dernières semaines ? Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent :
 - Je n'ai pas eu accès à des chauffages d'appoint.
 - J'ai eu accès à des chauffages d'appoint, mais n'ai pas eu besoin de les utiliser.
 - J'ai parfois utilisé des chauffages d'appoints, mais ils ne m'ont pas satisfait.
 - J'ai parfois utilisé des chauffages d'appoints et ils m'ont satisfait.
6. Avez-vous un commentaire sur l'expérience réalisée et ses suites éventuelles ? Veuillez écrire votre réponse ici :

Merci d'avoir répondu à ce questionnaire.