

CSTB
le futur en construction

Confort thermique d'été : campagne de mesure en logement collectif, été 2023

Dans le cadre du projet RENOPTIM



CSTB
le futur en construction

L'UNION
SOCIALE
POUR
L'HABITAT

PR@FEEL

CEE
Les certificats
D'ÉCONOMIES
D'ÉNERGIE

- ➔ **Contexte : présentation du projet RENOPTIM**
- ➔ **Objectifs et déroulé de la campagne d'instrumentation**
- ➔ **Résultats de la campagne :**
 - *Etat des lieux du confort d'été mesuré, calculé, ressenti*
 - *Facteurs explicatifs de la surchauffe dans les bâtiments*
 - *Interactions des occupants avec le bâti*
- ➔ **Synthèse et messages clés**
- ➔ **Conclusion et suite du projet**
- ➔ **Contacts**





Présentation du projet RENOPTIM

CSTB
le futur en construction

ENJEUX DU SECTEUR



RENOPTIM

Adaptation des bâtiments face au **changement climatique**

Massifier Favoriser des décisions de rénovation performante

Fiabiliser Sécuriser l'atteinte des performances recherchées et améliorer la qualité des travaux

Priorités de recherche CSTB

Connaissance du parc
Confort intérieur en été et en hiver
Accompagnement des innovations
Leviers d'amélioration du confort d'été

Plan d'action USH

Promouvoir activement l'**efficacité énergétique**

Améliorer la **maîtrise des coûts** du rafraîchissement en été

Faciliter et **accompagner le choix de systèmes** de rafraîchissement



FACILITER L'AMÉLIORATION DU CONFORT D'ÉTÉ ET MAÎTRISER LA FACTURE ÉNERGÉTIQUE

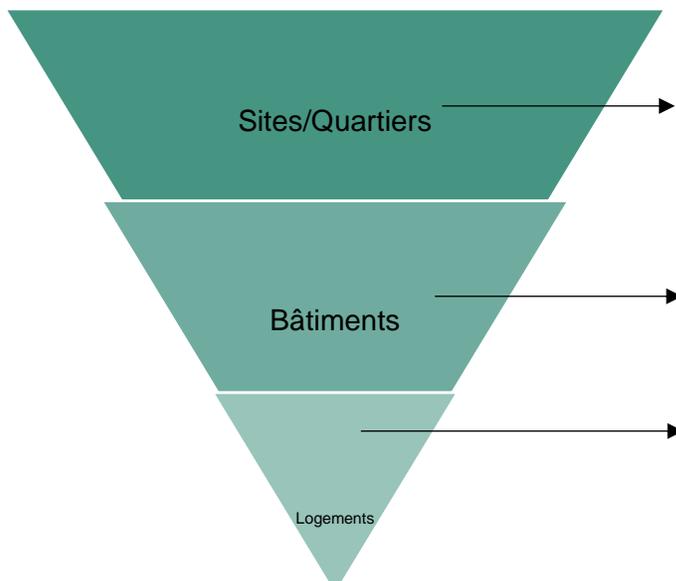
Parc existant de logements collectifs, privé et social, France métropolitaine

Projet CEE PROFEEL 2
Portage CSTB + USH
Durée 4 ans (2022 - 2025)
Budget total 5M€

Elaborer un **outil d'aide à la décision** à destination des bailleurs pour une **meilleure prise en compte du confort d'été dans les logements**

- ✓ **NIVEAU STRATEGIQUE** : identifier les logements les plus à risques au sein de leur parc pour prioriser et anticiper les interventions
- ✓ **NIVEAU PROGRAMMATIQUE** : identifier les solutions les plus adaptées à chaque bâtiment/logement/usager et quantifier l'impact

CIBLAGE PAR ECHELLE
permettant in fine de cibler les logements à traiter en priorité



+ **SIMULATION DE TRAVAUX ET ACTIONS D'AMELIORATIONS**
ECHELLE LOGEMENT/BATI/ENVIRONNEMENT **+**

Pré-calculs permettant classification
(adossé à la **Base de Données Nationale des Bâtiments**)



Simulation à l'échelle du **bâtiment**

Simulation à l'échelle du **logement** et de **l'occupant**



INDICATEURS DE SORTIES D'AIDE A LA DECISION TECHNICO-ECONOMIQUE

Aide à la décision choix de solutions

Comparer et présenter les gains en confort/conso froid au regard d'autres indicateurs :

- Cout/facilité/robustesse de mise en œuvre de la solution et appropriation par l'utilisateur
- Carbone et ACV
- Consommation en hiver
- ...

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CES OBJECTIFS



Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CES OBJECTIFS



Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Rapport bibliographique : état de l'art des connaissances actuelles sur la surchauffe, les moyens d'évaluer le confort ainsi que les moyens d'actions, **dont étude sociologique** + **6 vidéos écogestes** : ventilateurs, bien aérer, empêcher la chaleur de rentrer, limiter la surchauffe, végétaliser, climatisation en dernier recours



Contribution partenaires :

- Entretiens sur les pratiques actuelles et besoins bailleurs
- Validation des vidéos écogestes

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CES OBJECTIFS



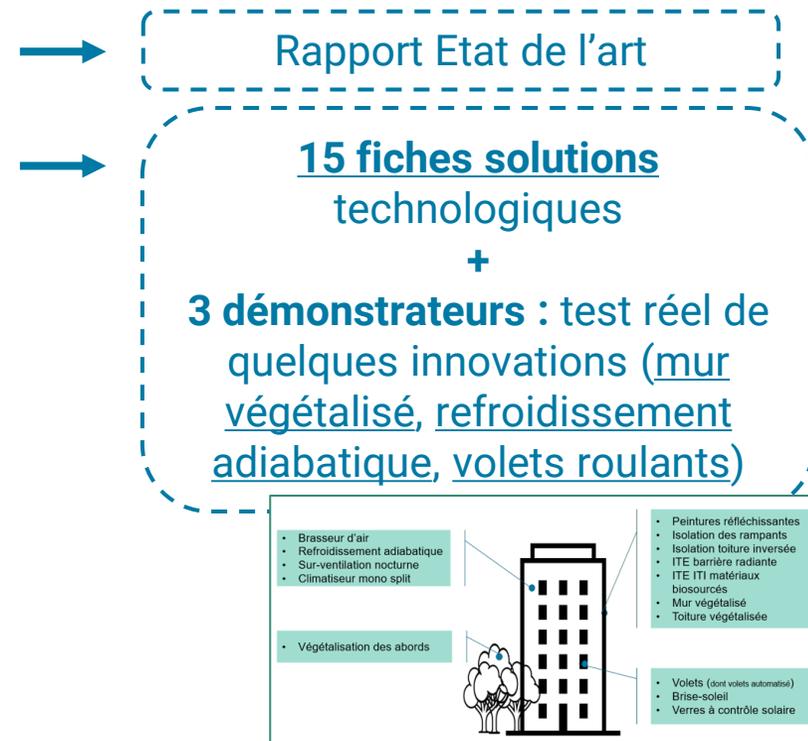
Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Contribution partenaires :

- Identification et priorisation solutions
- Rubriques à documenter

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CES OBJECTIFS



Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



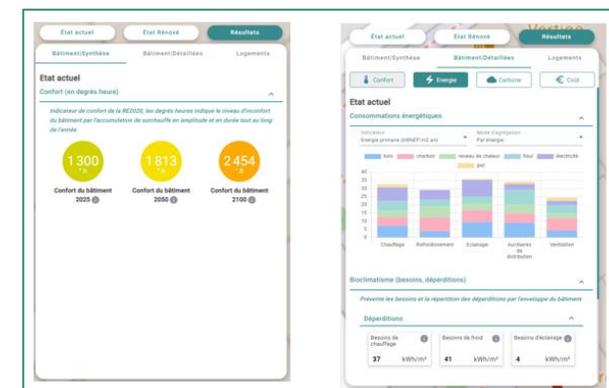
Rapport Etat de l'art



15 fiches + 3 démonstrateurs



Applicatifs numériques



Contribution partenaires :

- Définition des profils et besoins utilisateurs
- Type de données et indicateurs pertinents
- Bêta-test de l'outil

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CES OBJECTIFS



Action 1 : études préalables



Rapport Etat de l'art

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été



15 fiches + 3 démonstrateurs

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision



Applicatifs numériques

Action 4 : campagne expérimentale in situ



Rapport de synthèse des résultats de la campagne

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Présent document



Contribution partenaires :
Recrutement des logements
Déploiement de la campagne

5 ACTIONS POUR RÉPONDRE À CET OBJECTIF



Action 1 : études préalables



Rapport Etat de l'art

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été



15 fiches + 3 démonstrateurs

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision



Applicatifs numériques

Action 4 : campagne expérimentale in situ



Restitution des résultats de la campagne réalisée

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Vecteurs et supports de diffusion



Objectifs et déroulé de la campagne

UNE CAMPAGNE DE MESURES, MAIS POUR QUOI FAIRE ?

- ➔ **Observer la réalité** : état des lieux de l'éventuelle surchauffe, ressentis des occupants et mesures des consommations énergétiques sur l'échantillon instrumenté
- ➔ **Apprendre** : approfondir nos connaissances sur l'évaluation du confort d'été par les occupants, repérer les comportements d'adaptation des occupants en périodes de fortes chaleurs
- ➔ **Alimenter la construction de l'outil RENOPTIM** : données réelles comme source d'apprentissage des modèles



QUE S'EST-IL PASSÉ DANS LES LOGEMENTS ?

conditions
environnementales
intérieures et
extérieures
+ consommations
énergétiques



en lien avec la
physique du
bâtiment : pour les
DPE et l'analyse des
données mesurées

données
personnelles et
informations
d'usage
(occupation,
habitudes ...)

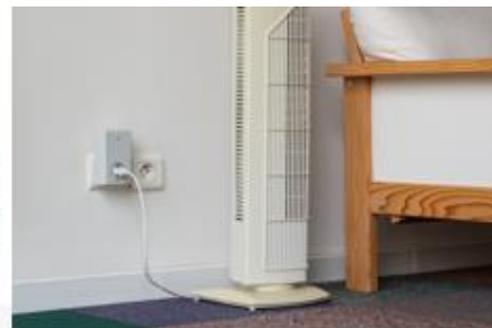


*Contact de feuillure :
utilisation des ouvrants*



*Température et
humidité*

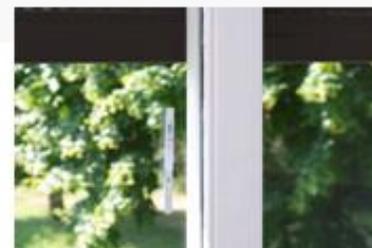
*Consommations
d'énergie spécifiques
équipements de confort*



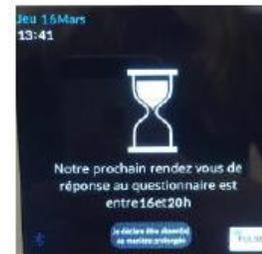
*Consommations
d'énergie au compteur*



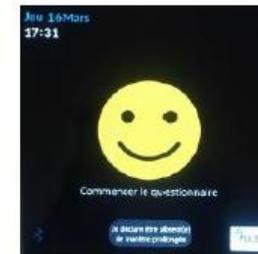
Station météo



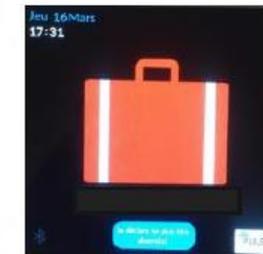
*Luminosité : utilisation
protections solaires*



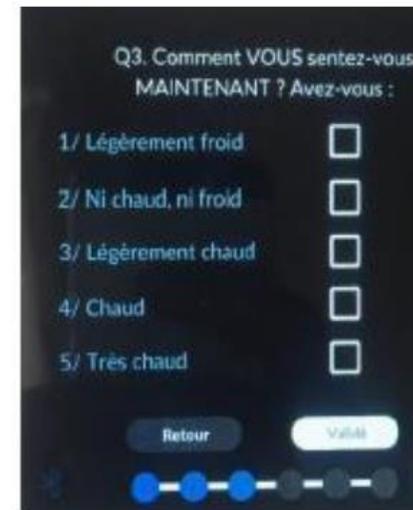
Entre les périodes de réponse au questionnaire



6 questions



Absence prolongée



*Mesures de T/HR
Sensation, niveau de confort, acceptabilité et satisfaction thermiques
Niveaux de vêtue et d'activité
Réponses 3x par jour tout l'été par l'occupant*

ETUDE COMPLEMENTAIRE : MESURE DES CONDITIONS THERMO-PHYSIOLOGIQUES DES OCCUPANTS



1 box confort par occupant majeur du logement



Mesures physiologiques embarquées sur l'occupant : fréquence cardiaque, température cutanée en 3 points et température centrale



Mesures environnementales embarquées sur l'occupant : humidité, température radiante et d'air au voisinage du sujet

*Mesures pendant une semaine chaude durant l'été 2023
Echantillon restreint : 20 personnes*

CRITÈRES DE RECRUTEMENT DES LOGEMENTS : LOGEMENTS COLLECTIFS, SOCIAUX ET PRIVÉS

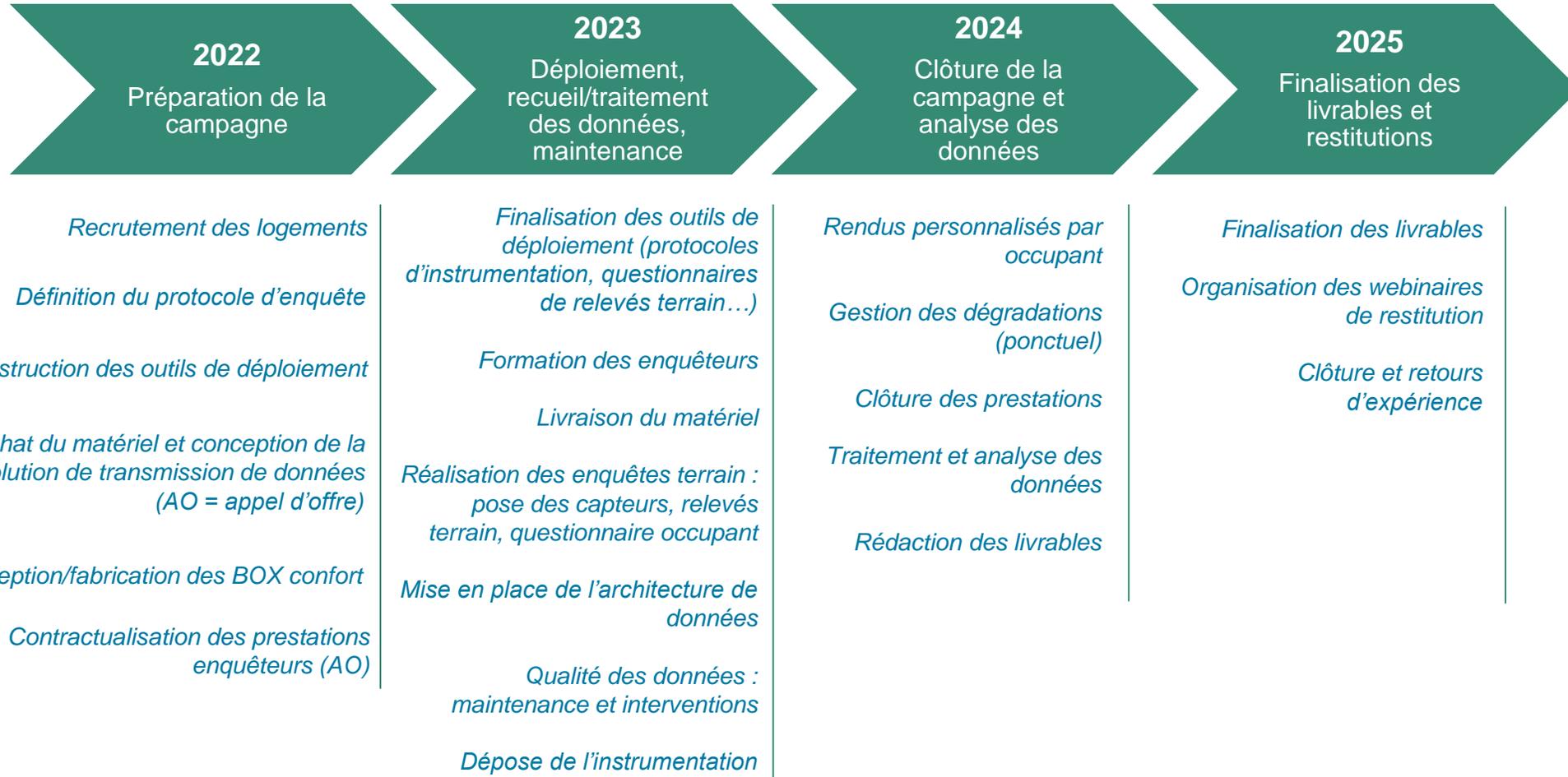
davantage exposés au risque de surchauffe que ceux situés en zone semi-urbaine ou rurale



diversité de typologie de bâtiment

rationaliser le nombre de capteurs à déployer pour évaluer les consommations d'énergie et les apports de chaleur internes

n'a pas pu être respecté sur 8 logements : non déclaré ou achat en cours de campagne



Région	Equipe en charge de la réalisation des enquêtes	Nombre de logements	SOCIAL	PRIVE	Etude complémentaire thermo-physiologique (nb de personnes)
IDF	ITHAQUE	20	5	15	3
	CSTB	20	3	17	5
Gironde	BME	14	6	8	5
Sud-Est	WATTSMART	22	17	5	7
TOTAL		76	31	45	20
			41%	59%	



- ❑ Recrutement de 76 logements
- ❑ Recrutement des logements sociaux par l'USH et les bailleurs volontaires : GIRONDE HABITAT, LOGIS CEVENOL, ELOGIE-SIEMP, HABITAT DU GARD
- ❑ Recrutement des logements privés par l'Agence Parisienne du Climat (APC)
- ❑ Réalisation des 76 enquêtes entre avril et juin 2023, par nos 4 équipes d'enquêteurs : BORDEAUX METROPOLE ENERGIES, WATTSMART, ITHAQUE, CSTB
- ❑ 1262 capteurs et box confort déployés, notamment avec l'aide de notre prestataire de transmission de données lothink Solutions
- ❑ Rétribution des volontaires en début et fin de campagne (bons cadeaux)
- ❑ Envoi par mail d'une fiche personnalisée présentant les principaux résultats + synthèse de l'étude énergétique (type DPE mais pas de valeur juridique)

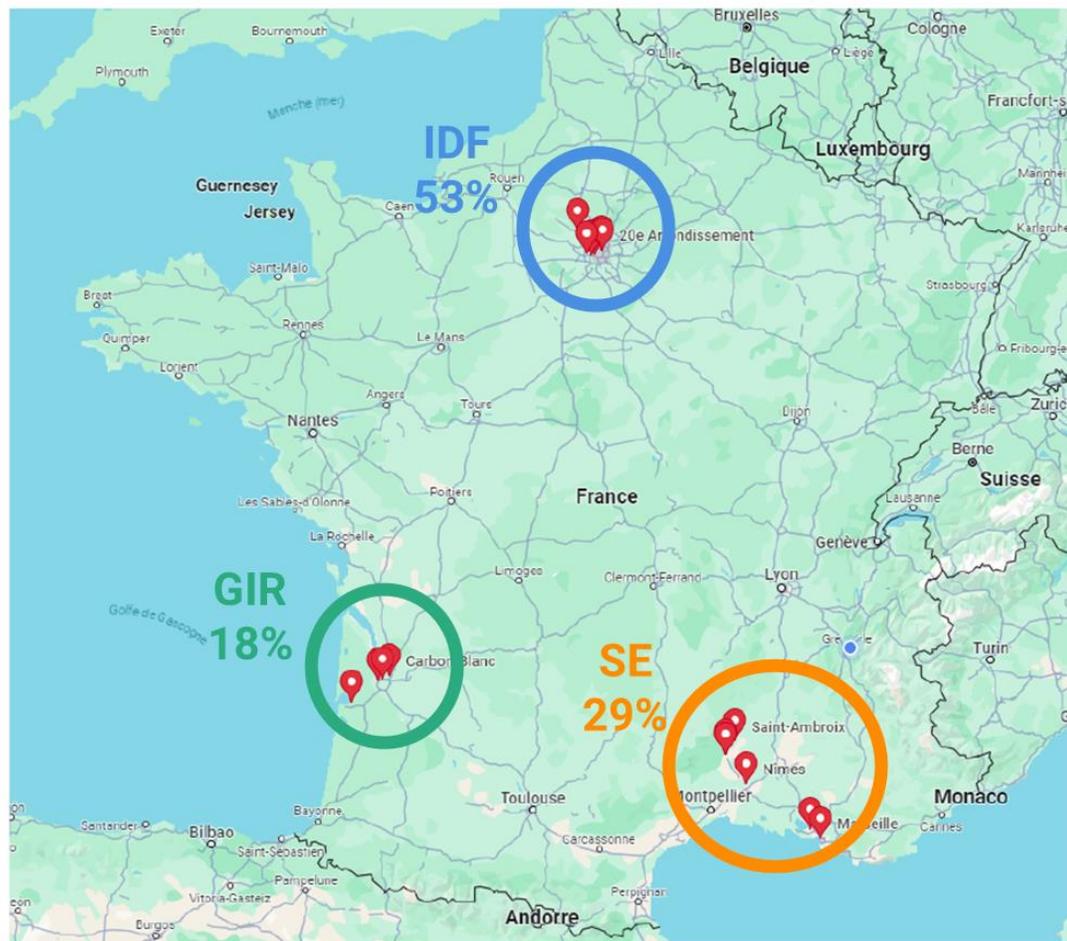




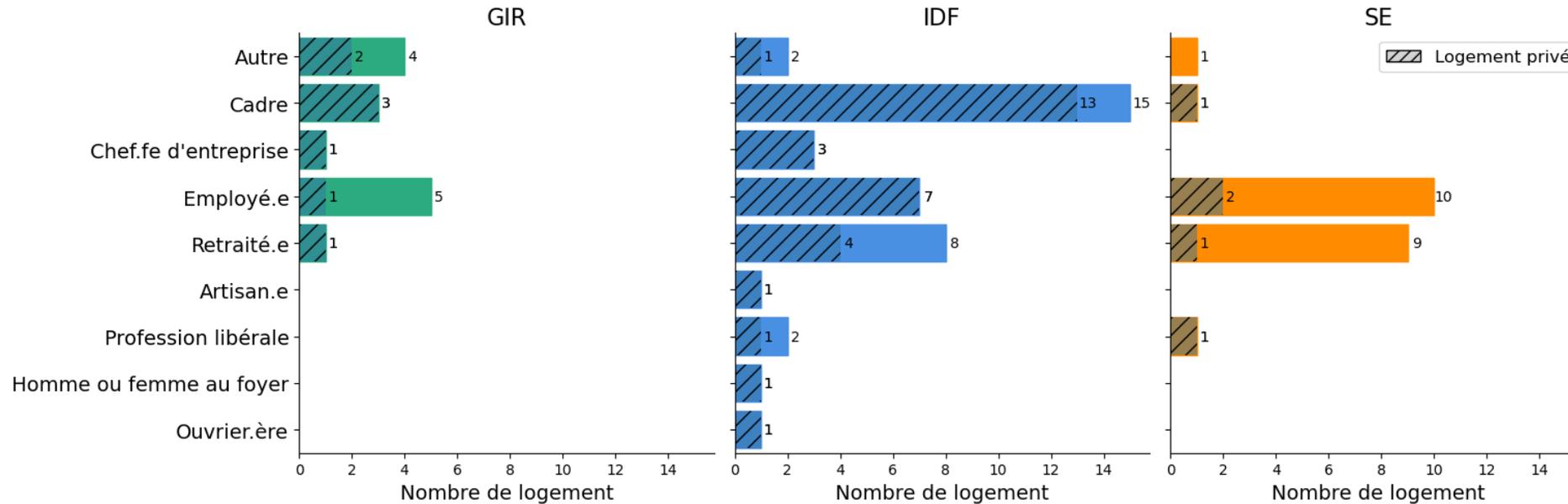
Présentation des résultats de la campagne de mesure



Description de l'échantillon et de la période de mesure



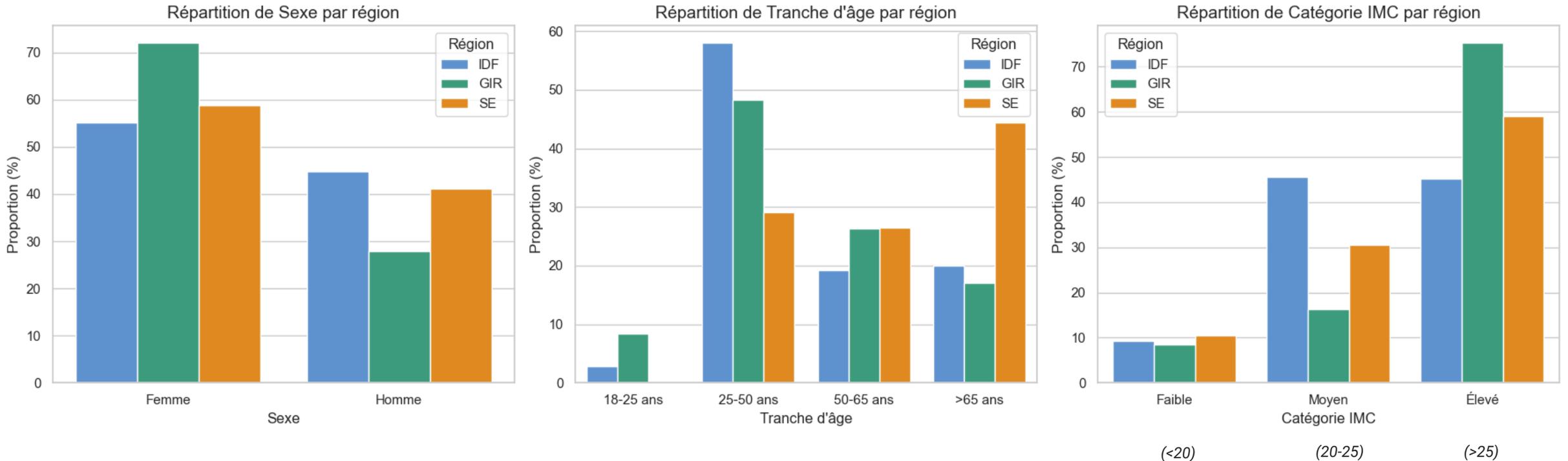
- ~ **50 %** des logements sont en **île de France (IDF)**
Majorité de logements privés
- ~ **20 %** des logements sont en **Gironde (GIR)**
Bonne répartition social/privé
- ~ **30 %** des logements sont dans la région **Sud-Est (SE)**
Majorité de logements sociaux



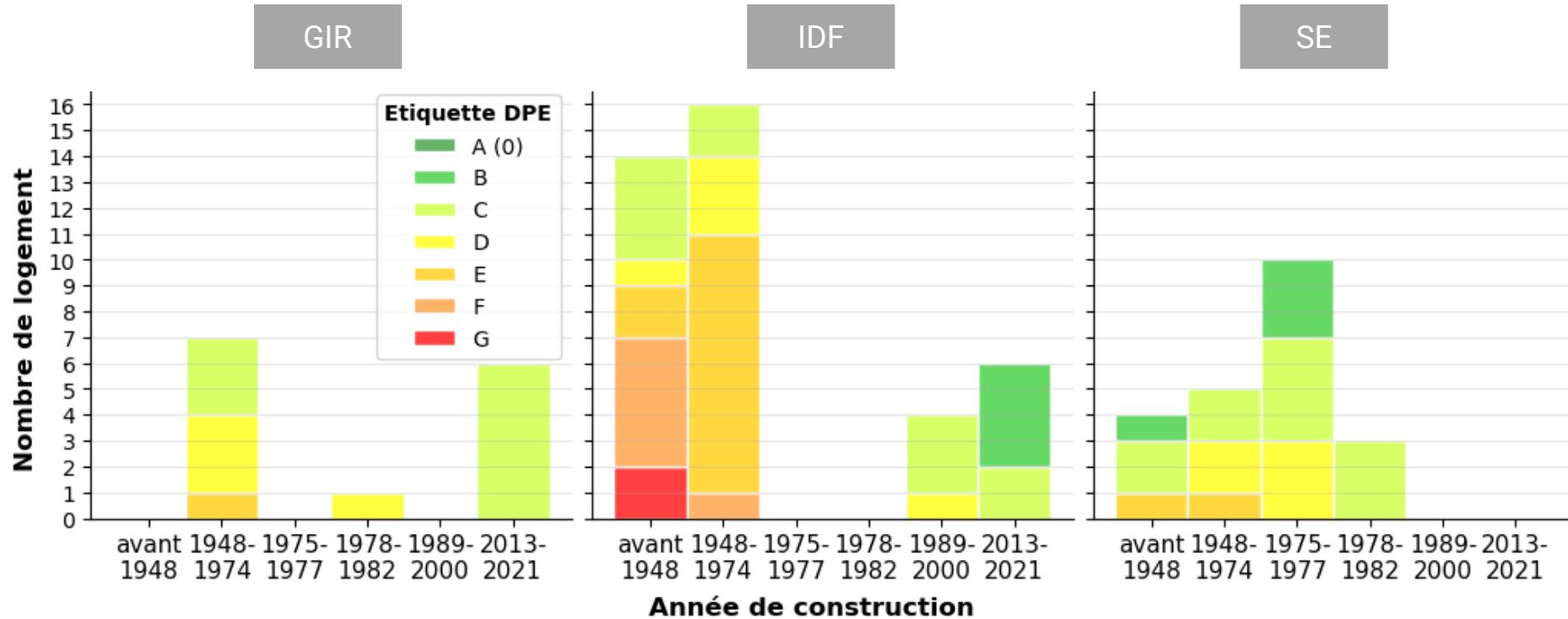
Bonne répartition social/privé
Cadres, employés, autre

Majorité de logements privés
Cadres, employés, retraités

Majorité de logements sociaux
Employés, retraités



- Le panel de volontaires est composé de **plus de femmes que d'hommes** dans l'ensemble des régions.
- **Au Sud-est, le panel est plus âgé** que dans les autres régions avec 44% des volontaires dans la tranche d'âge >65 ans.
- **Au Sud-Est et en Gironde, la majorité des participants ont un IMC élevé.**
- Ces caractéristiques socio-démographiques peuvent avoir une influence sur le confort thermique perçu et doivent servir d'éléments illustratifs dans l'interprétation des résultats.

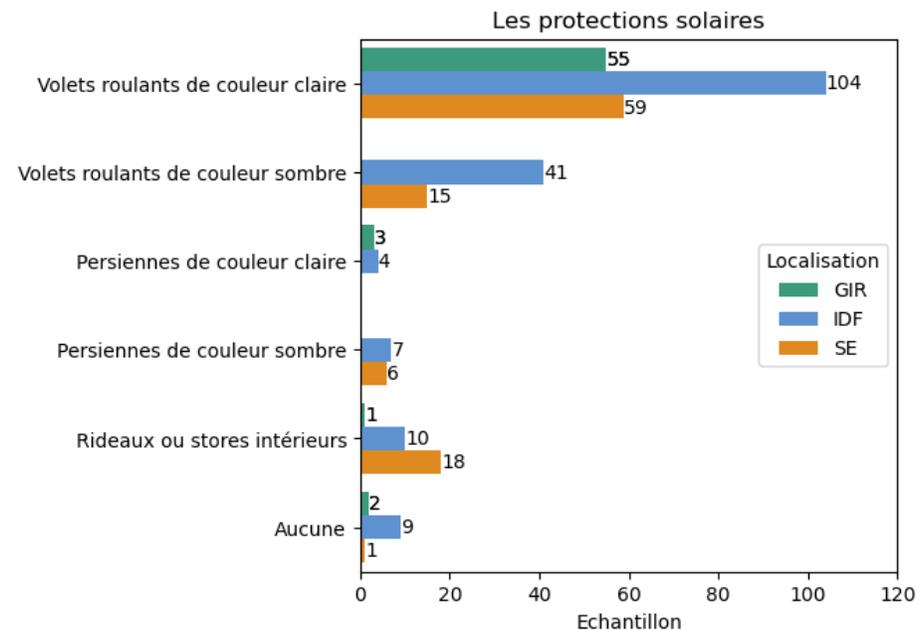
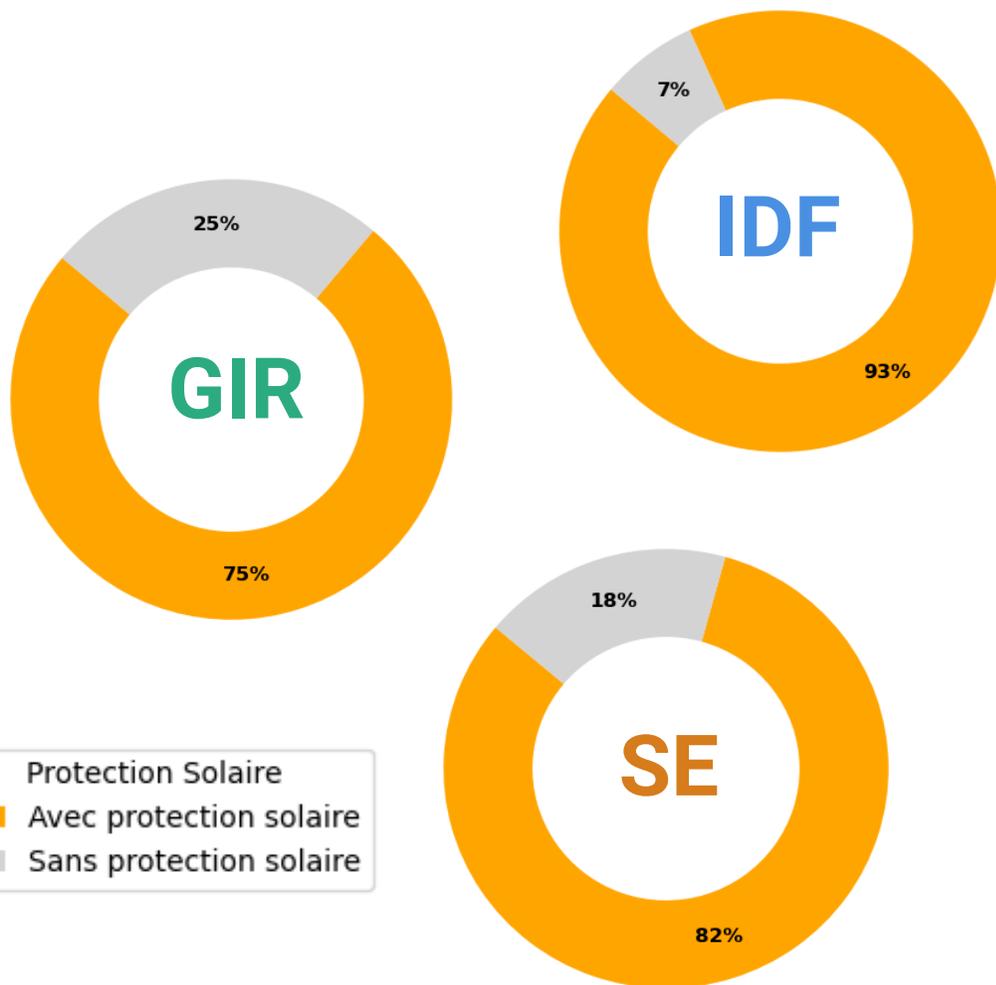


- Etiquettes DPE B, C, D
- **Très bonne isolation et parfois moyenne/bonne**

- Etiquettes DPE de B à G
- **Isolation de insuffisante à très bonne**

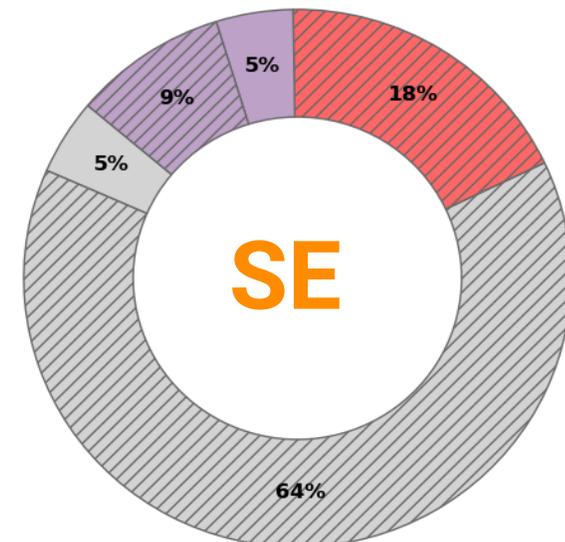
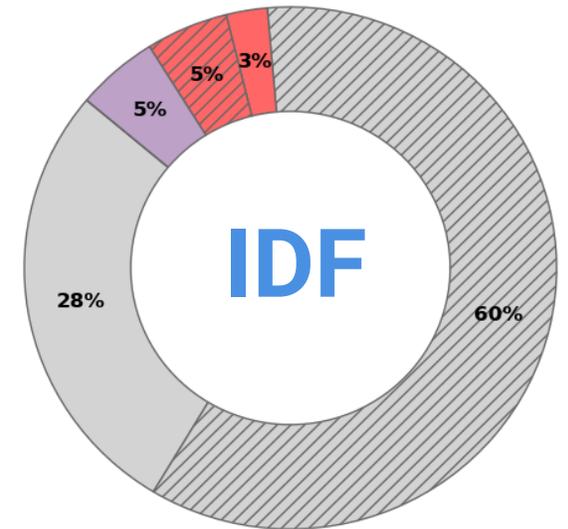
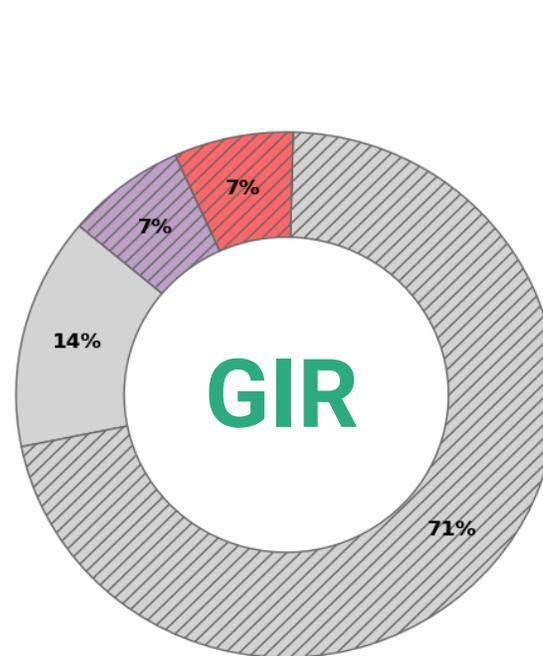
- Etiquettes DPE de B à E
- **Isolation toujours insuffisante**
- *L'étiquette DPE s'explique aussi par la performance des systèmes énergétiques et la zone climatique

Données issues du questionnaire bâtiment qui comprend un DPE

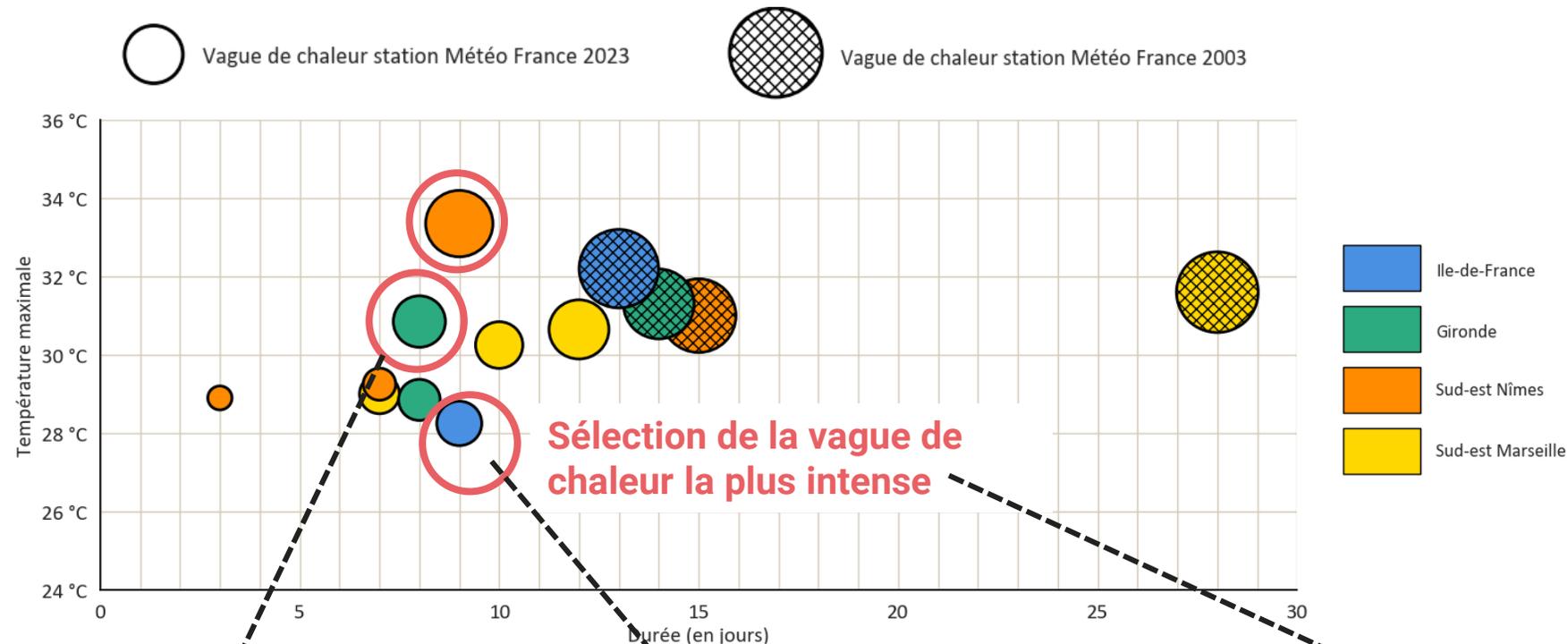


- La majorité des logements ont des protections solaires extérieures (volets roulants)
- ~ 20% des logements en région SE ne sont pas équipés

- La majorité des occupants disposent de ventilateurs mobiles
- 80% des occupants expliquent la raison de leur achat de ventilateur comme « ultime solution de protection contre la chaleur »
- En IDF 28% des occupants n'ont pas d'équipements de confort d'été
- En SE 18% des occupants se sont munis de climatiseurs mobiles
- Presque tous les logements ayant des climatiseurs mobiles sont également munis de ventilateurs mobiles
- Peu de logements sont équipés de brasseurs plafonniers



Comparaison des vagues de chaleur 2023 et 2003 aux stations de Météo France



Durant la canicule

- Humidité relative faible en SE et IDF, moyenne en GIR
- Ensoleillement élevé en GIR et SE, moyen en IDF

GIR

Vague de chaleur ~2x moins longue mais presque aussi intense qu'en 2003
Du 19 Aout au 25 Aout

IDF

Vague de chaleur moins longue ET moins intense qu'en 2003 (ICU non pris en compte)
Du 5 Septembre au 11 Septembre

SE

Vague de chaleur moins longue mais plus intense (hors Marseille) qu'en 2003
Du 19 Aout au 25 Aout

La méthodologie de la caractérisation des vagues de chaleurs présentée est extraite de l'article :

Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble, Climate Services, G. Ouzeau, J.-M. Soubeyroux, M. Schneider, R. Vautard, S. Planton

La méthodologie proposée repose en trois étapes :

Détection de la vague de chaleur :

- Une vague de chaleur est détectée lorsque la température moyenne journalière dépasse le seuil Spic.

Identification du début de la vague de chaleur :

- Pour détecter le début d'une vague de chaleur, on identifie le premier jour précédant le pic de chaleur pour lequel la température moyenne journalière est inférieure à un seuil Sdeb.

Identification de la fin de la vague de chaleur :

- On considère qu'une vague de chaleur prend fin dès lors que l'une des deux conditions suivantes est vérifiée :
 - La température moyenne journalière diminue en dessous d'un seuil Sint.
 - La température moyenne journalière diminue sous le seuil Sdeb pendant trois jours consécutifs.

L'intensité d'une vague de chaleur est définie comme le cumul de la différence entre la température journalière mesurée et le seuil Sdeb divisé par la différence entre Spic et Sdeb.

Les seuils utilisés par Météo France sont définis à l'échelle nationale pour la détection de vague de chaleur à l'échelle de la France métropolitaine. L'article propose une méthodologie pour recalculer ces seuils à partir de données météorologiques locales afin d'identifier des vagues de chaleurs locales.

Recalcul des seuils de détection des vagues de chaleur à l'échelle locale

Calcul basé sur les températures quotidiennes mesurées par des stations météorologiques locales au cours des 30 dernières années :

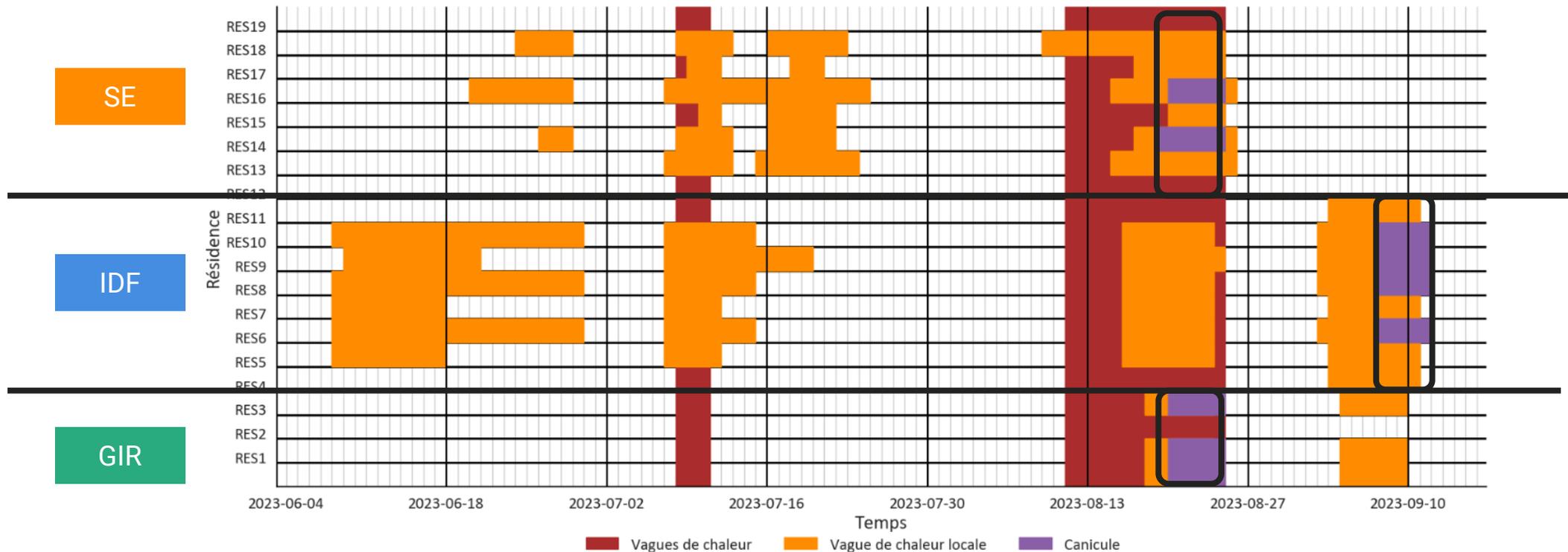
- Ile-de-France : Villacoublay
- Gironde : Mérignac
- Sud-est : Marignane

Identification des seuils à partir de percentiles des distributions de températures pour chacune des stations météorologiques de référence Météo France :

Seuil	Percentile	Villacoublay	Mérignac	Marignane
Sint	95	21,6 °C	23,2 °C	25,9 °C
Sdeb	97,5	23,2 °C	24,6 °C	26,9 °C
Spic	99,5	26,0 °C	27,3 °C	28,4 °C

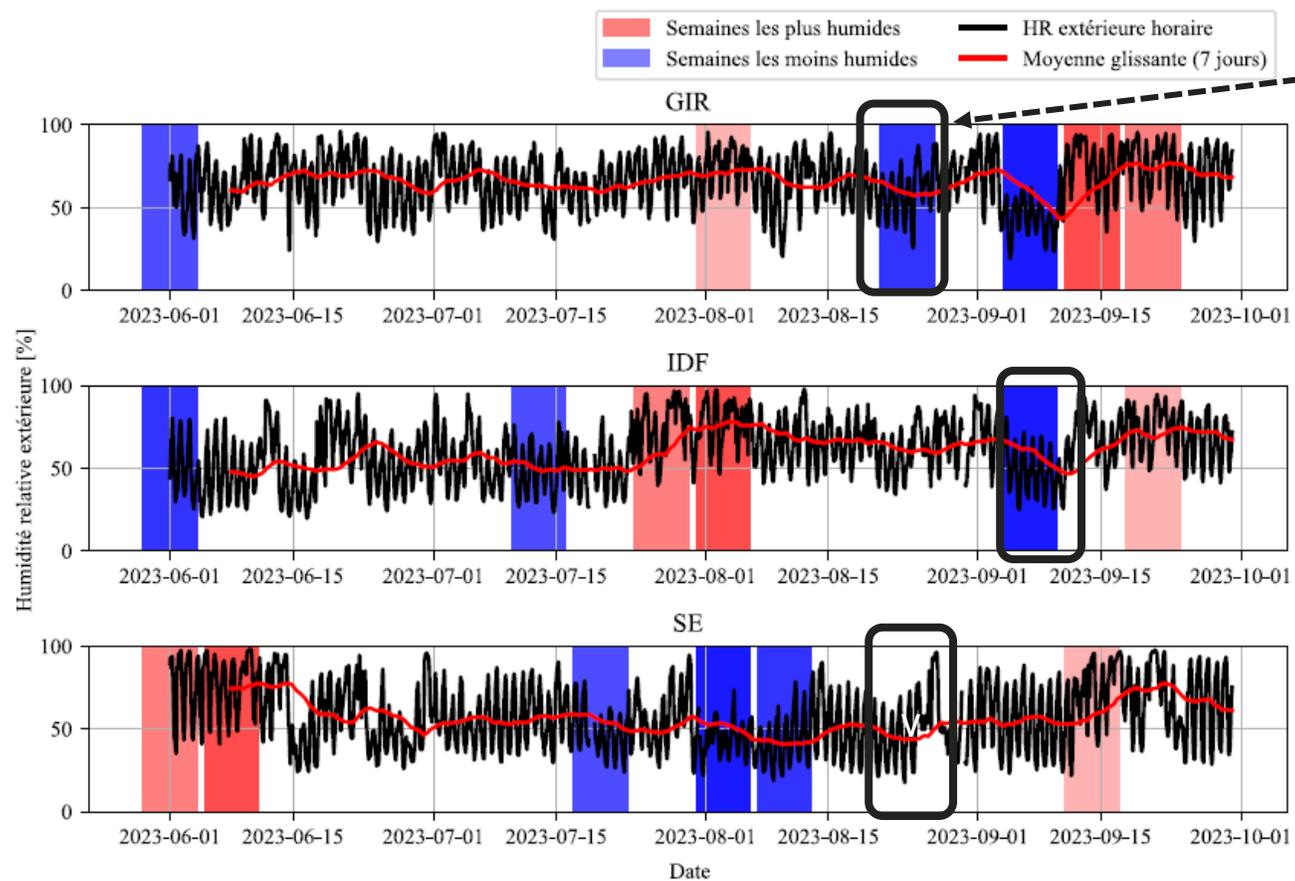
Utilisation de ces seuils pour la détection de vagues de chaleur « locales » à partir des données des stations météorologiques des résidences.

Occurences des vagues de chaleur et des canicules à proximité des résidences lors de l'été 2023



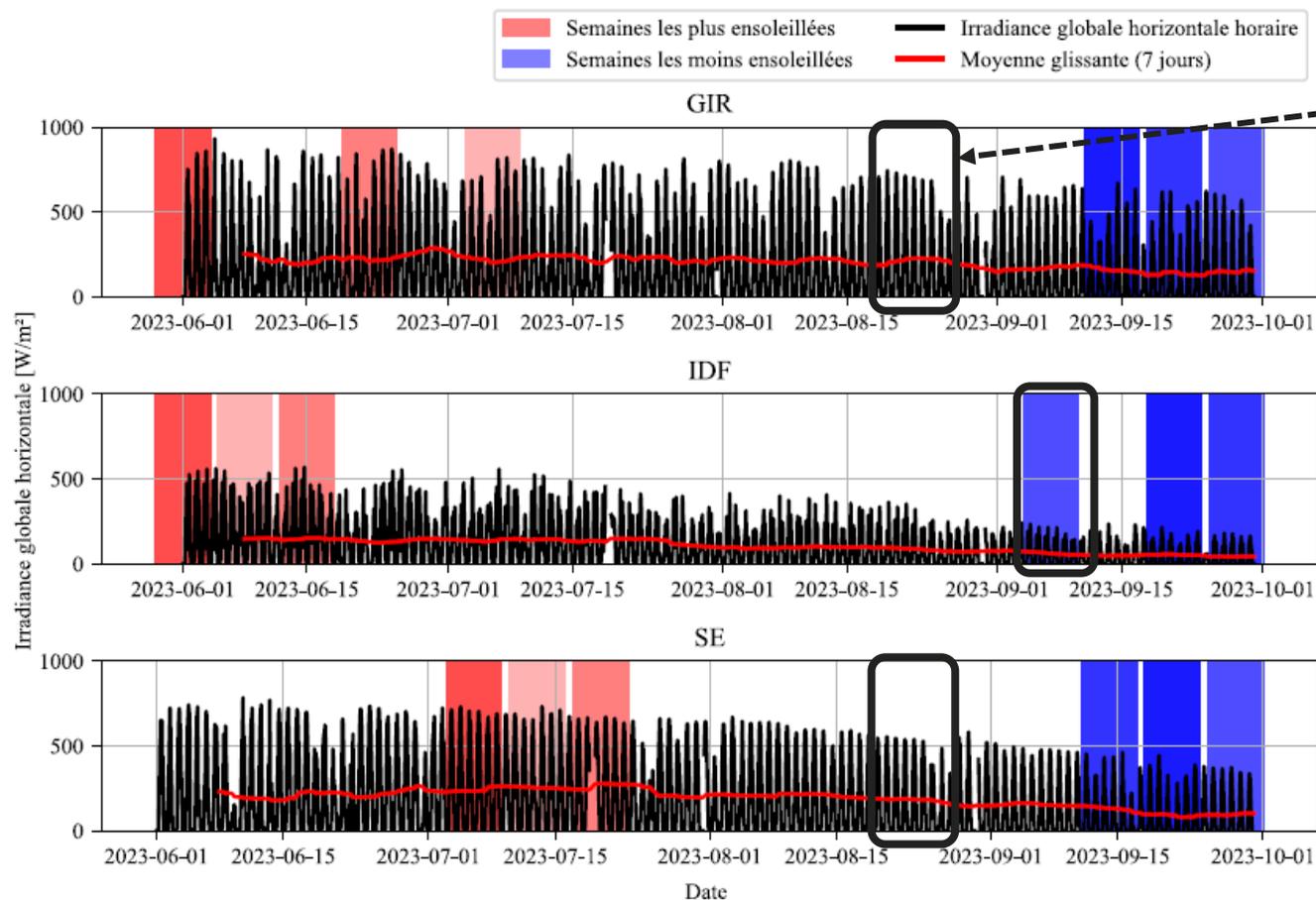
Source : Projet RENOPTIM, Tsar v0.2

- Vague de chaleur = Vague de chaleur nationale identifiée par MétéoFrance
- Vague de chaleur locale = Vague de chaleur calculée pour chaque résidence (utilisant les seuils déterminés aux stations de référence Météo france cf slide précédent) avec les mesures de température extérieures locales (mesures Renoptim à proximité des résidences)
- Canicule = canicule identifiée et sélectionnée pour la suite de l'analyse
- La canicule est définie selon la méthode des seuils IBM définie dans le Système d'Alerte Canicule et Santé ([SACS 2006](#))



**Période
de canicule**

*Moyenne par régions des humidités relatives extérieures mesurées
proche des résidences.*



**Période
de canicule**

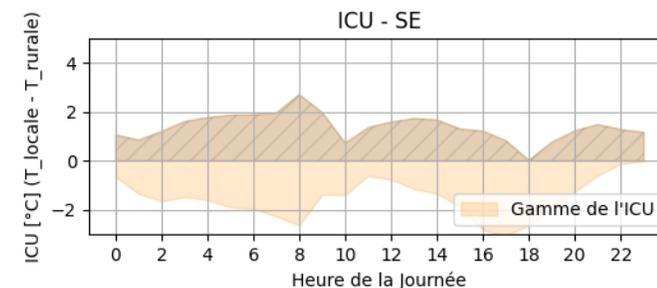
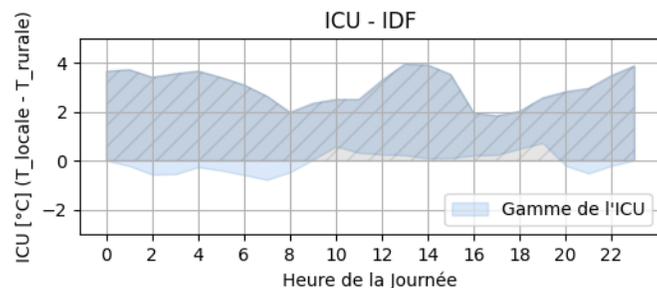
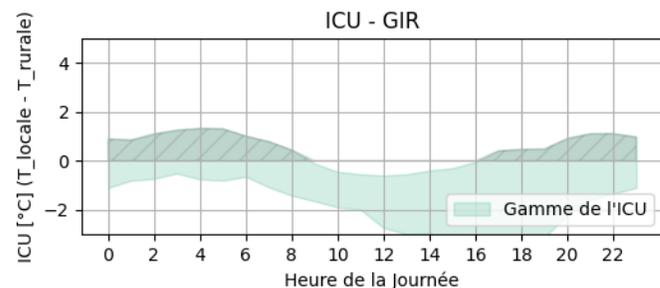
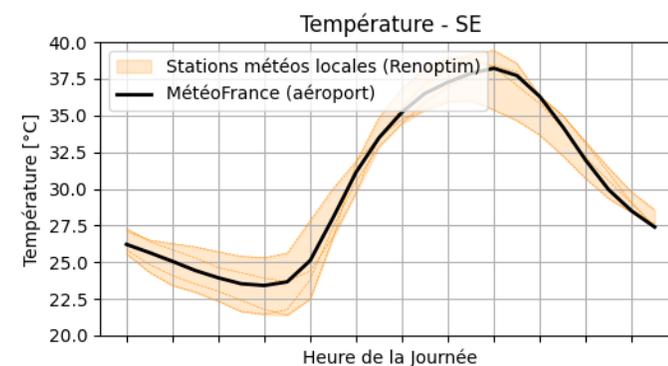
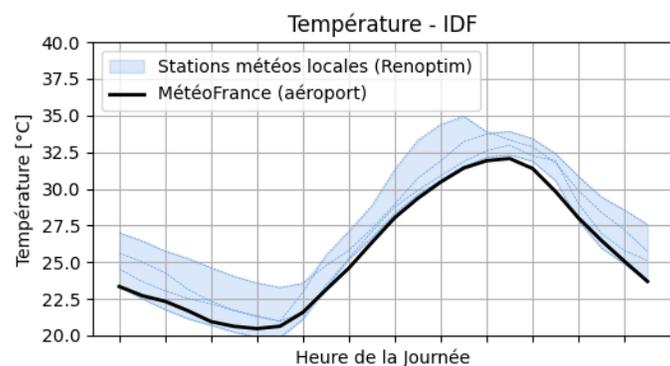
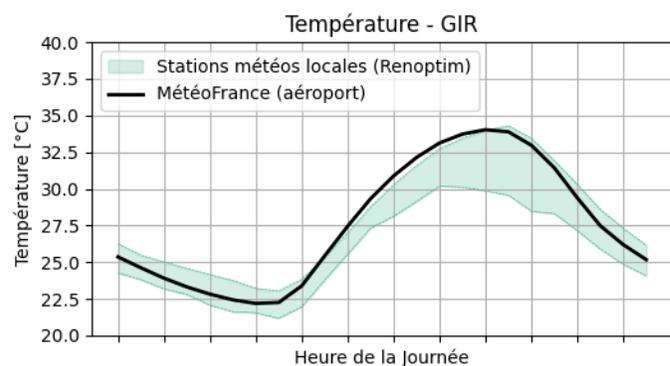
*Moyenne par régions des irradiances globales horizontales mesurées
proche des résidences.*

GIR

IDF

SE

Profils Moyens Journaliers de Température et ICU par Région en période de canicule



➤ ICU nocturne de +1,5 °C

➤ ICU nocturne et diurne jusqu'à +4°C

➤ ICU nocturne et diurne jusqu'à 2°C selon la localisation

Gironde



50 % social, 50 % privé
Cadres, employés, autre



Bonne étiquette DPE
Bonne isolation



Vague de chaleur moyenne

Ile de France

Majorité de **logements privés**
Cadres, employés, retraités

Etiquette DPE : B à G
Isolation **insuffisante à très bonne**

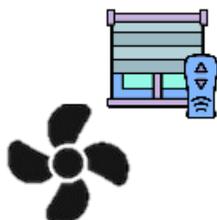
Faible vague de chaleur
ICU nocturne +4°C

Sud-Est

Majorité de **logements sociaux**
Employés, retraités

Etiquette DPE : B à E
Isolation insuffisante

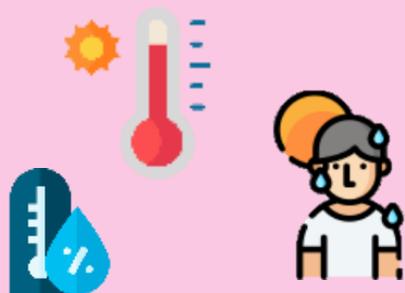
Vague de chaleur intense
ICU diurne et nocturne + 2°C



Beaucoup d'équipements de confort d'été dans les logements
~ 85 % ont des protections solaires extérieures et/ou au moins un équipement de confort (ventilateur mobile ou clim mobile)



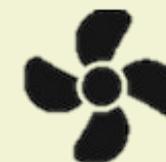
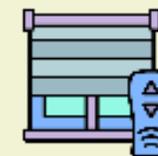
Analyse des mesures



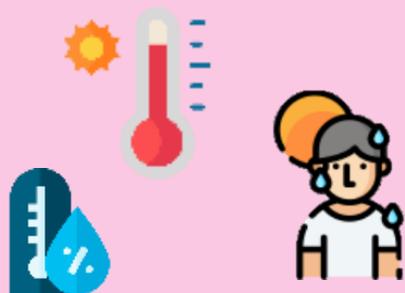
Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé



Facteurs explicatifs des surchauffes



Interactions des occupants avec le bâti



Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé



Facteurs explicatifs des surchauffes



Interactions des occupants avec le bâti



Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé

Analyse des mesures environnementales et déclaratives sur le panel des 76 logements

- 6 questions
- 3 créneaux de réponse par jour :

Matin : 06h00 - 09h00
Journée : 16h00 - 20h00
Soir : 21h00 - 02h00

Informations sur le niveau d'activité et de vêtture

Q1. Veuillez indiquer votre niveau d'activité dans les 10 minutes précédant ce moment :

Aucune activité (repos, couché)

Activité sédentaire (travail sur ordinateur, TV, lecture)

Activité légère/moyenne (cuisine, rangement, ménage, ...)

Retour Validé PULSE

Q2. Veuillez indiquer votre niveau de vêtture MAINTENANT :

Je suis vêtu de manière légère (short ou robe fine)

Je suis moyennement vêtu (pantalon, chemise)

Je suis fortement vêtu (pull, veste ou foulard)

Retour Validé PULSE



Echelles de perception thermique issues et adaptées de l'ASHRAE

- Sensation thermique
- Confort thermique
- Acceptabilité
- Satisfaction

Q3. Comment VOUS sentez-vous MAINTENANT ? Avez-vous :

1/ Légèrement froid

2/ Ni chaud, ni froid

3/ Légèrement chaud

4/ Chaud

5/ Très chaud

Retour Validé PULSE

Q4. Comment trouvez-VOUS cet environnement MAINTENANT ?

1/ Très inconfortable

2/ Inconfortable

3/ Légèrement inconfortable

4/ Confortable

Retour Validé PULSE

Q5. Comment jugez-VOUS cette ambiance thermique MAINTENANT ?

1/ Tout à fait inacceptable

2/ Tout juste inacceptable

3/ Tout juste acceptable

4/ Tout à fait acceptable

Retour Validé PULSE

Q6. Etes-vous MAINTENANT satisfait de cette ambiance thermique ?

1/ Insatisfait

2/ Tout juste insatisfait

3/ Tout juste satisfait

4/ Satisfait

Retour Validé PULSE

Données environnementales et déclaratives



76 couples logements/sujets



17 662 réponses au questionnaire
sur l'ensemble de la campagne



477 observations avec des mesures de
température et humidité relative non exploitables
retirées du jeu de données initial



Jeu de données final comportant
17 185 observations

Données physiologiques



19 couples logements/sujets
Équipés de capteurs physiologiques
pendant 1 semaine

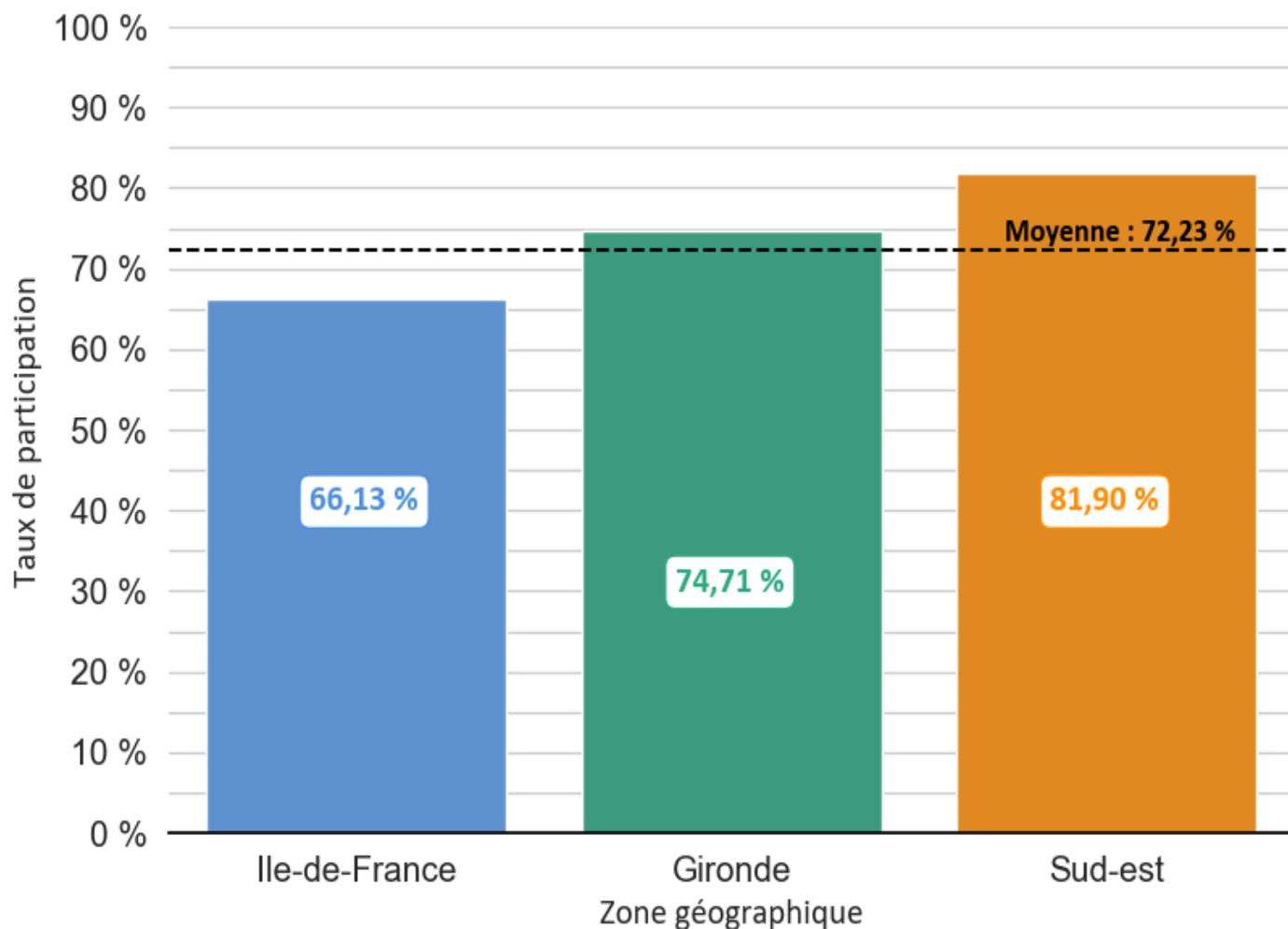


221 réponses au questionnaire
sur la phase avancée de l'étude

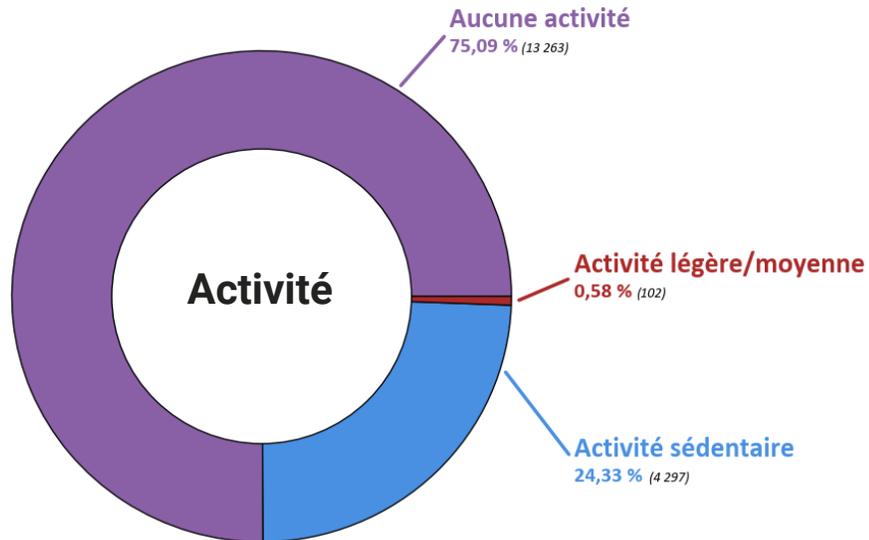
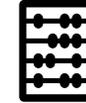


Jeu de données "panel avancé"
comportant 221 observations

Un total de 17 185 réponses au questionnaire, avec 76 logements participants (1^{er} juin au 30 septembre 2023)



- Taux de participation moyen (calculé sur le temps de présence) de **72%**
- Le Sud-Est est la région la plus mobilisée (82%)

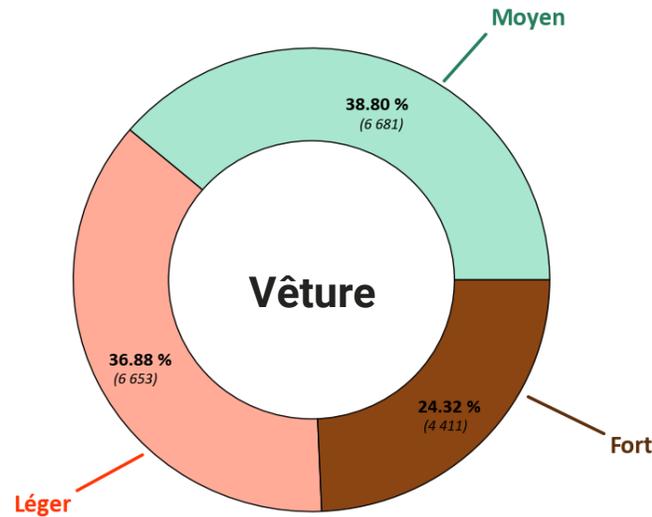


Equivalents met approximatifs :

- Aucune activité : 1
- Activité sédentaire < 1,5
- Activité légère/moyenne : 1,6-2,9

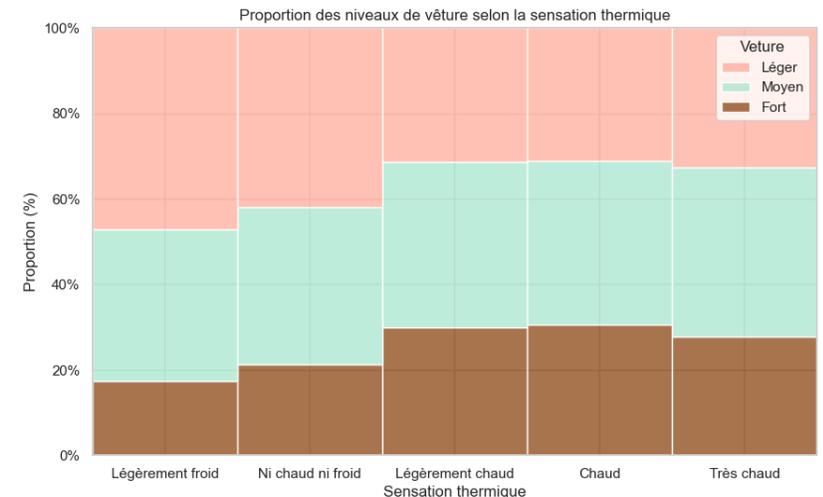
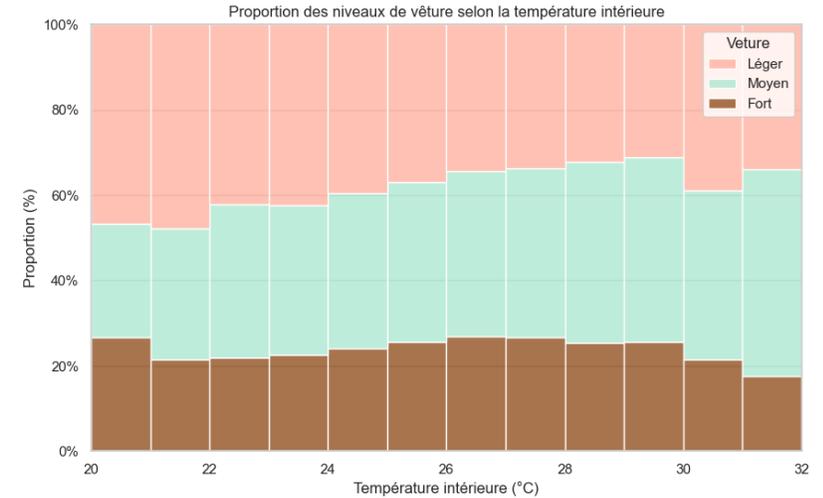
-
- Les participants ont déclaré n'avoir effectué **aucune activité** dans les 10 minutes précédant la réponse au questionnaire dans 75% des cas.
 - L'activité est **sédentaire** dans le reste des cas.
 - **Le confort thermique déclaré ne sera donc pas influencé par une activité physique significative.**
-

- Le niveau de vêtture déclaré par les participants est réparti sur les 3 modalités de manière similaire, quels que soient la température ou le niveau de sensation thermique perçu.
- Le confort thermique déclaré ne sera donc pas influencé par une répartition de niveaux de vêtture significativement différente d'un niveau de confort thermique à l'autre dans la suite des analyses.
- L'impact du niveau de vêtture est pourtant prépondérant pour le confort thermique : ce levier ne semble pas être très utilisé par les occupants pour s'adapter aux conditions thermiques intérieures

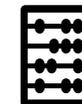
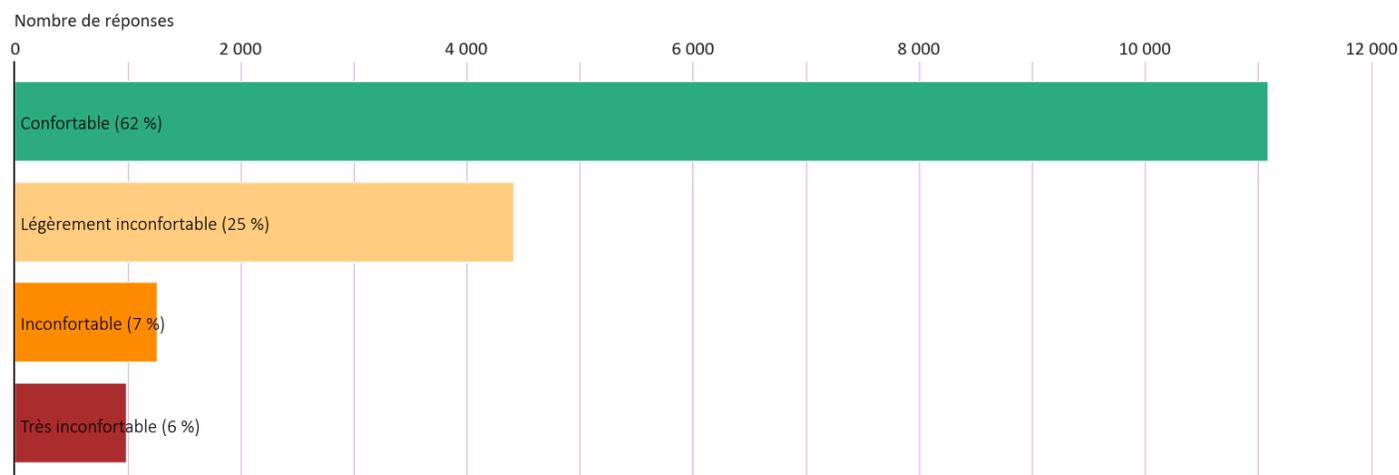
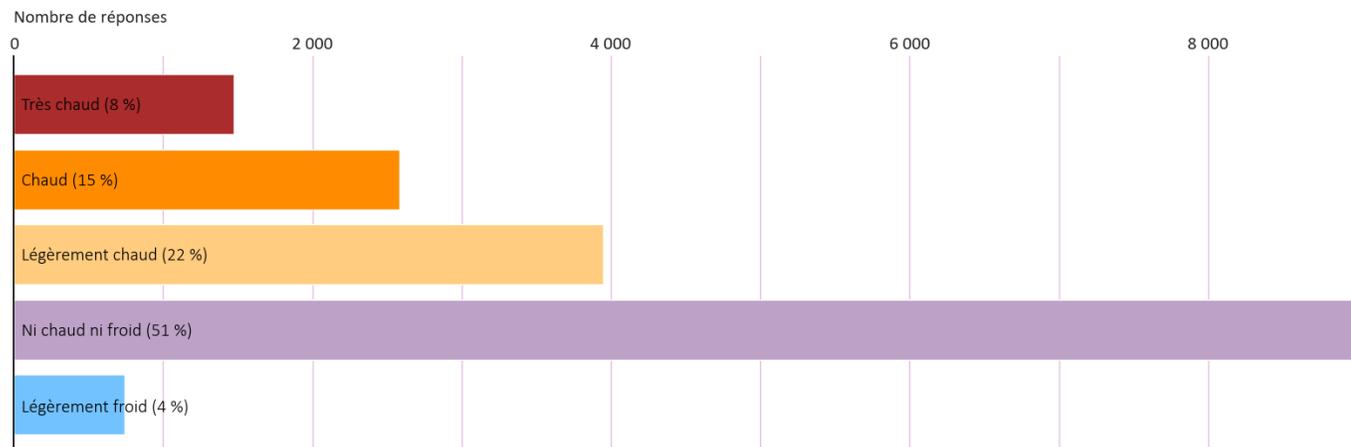


Equivalents clo approximatifs :

- Léger : 0,45
- Moyen : 0,7
- Fort : 1,15

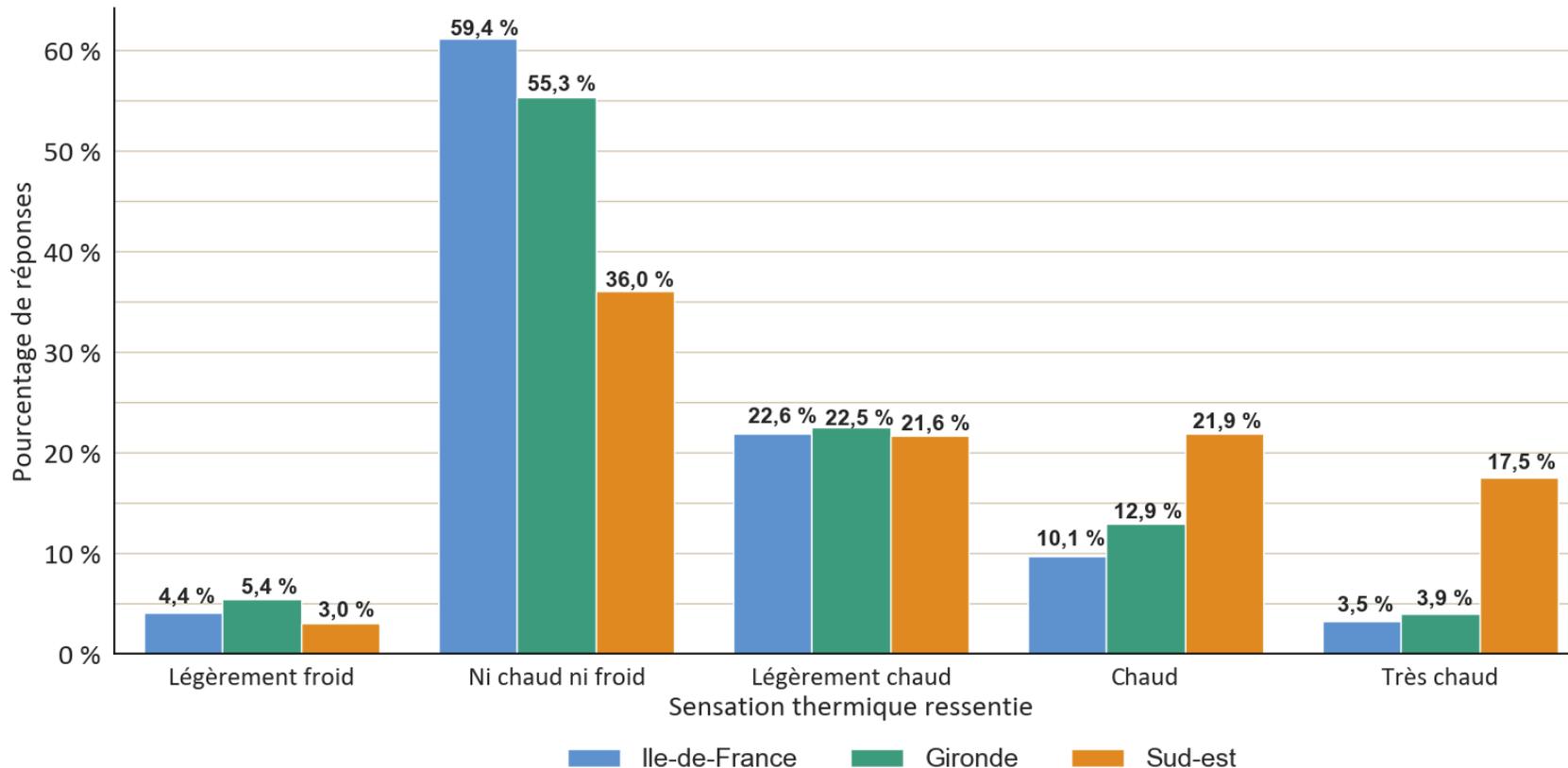


Un total de 17 185 réponses au questionnaire, avec 76 logements participants (1^{er} juin au 30 septembre 2023)



- Sur l'ensemble de la période des 4 mois d'été, la sensation thermique la plus ressentie est celle de n'avoir **ni chaud ni froid** et l'environnement est majoritairement décrit comme **confortable**.
- **L'inconfort** et le ressenti **très chaud** sont des événements ponctuels

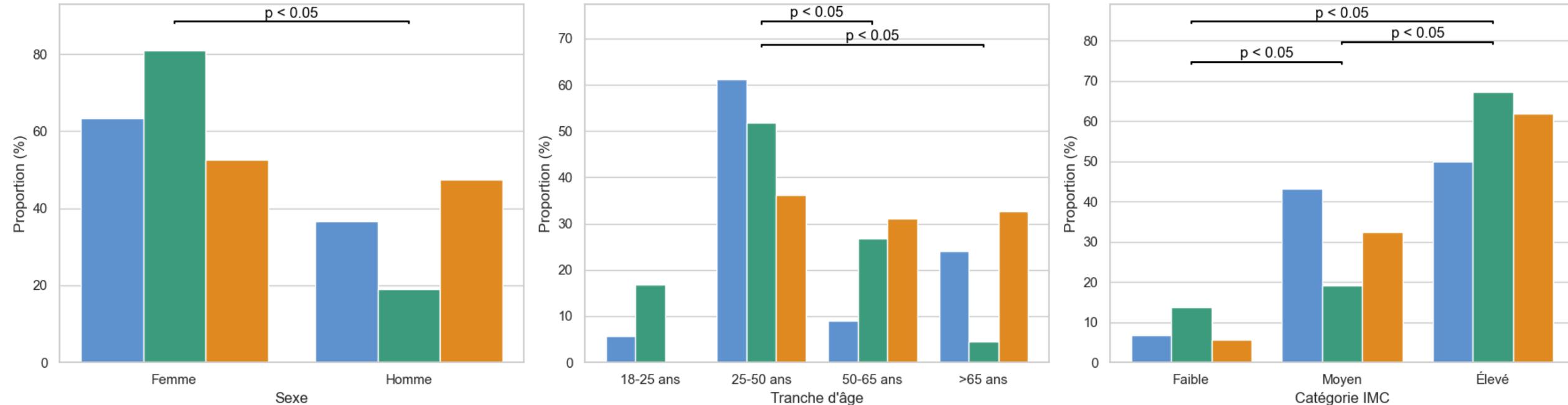
Distribution des réponses de sensation thermique ressentie par région durant l'été



SE

- Les ressenti « **chaud** » et « **très chaud** » sont plutôt **ponctuels en IdF et GIR : ~ 15% du temps** (équivalent 3 semaines majoritairement « chaud »)
- Dans le **SE** plus de réponses « **chaud** » et « **très chaud** » que dans les autres régions : Les réponses représentent **~40% de l'été** (équivalent 7 semaines dont 3 semaines de « très chaud »)
- Note : Températures extérieures plus élevées dans le SE.

Répartition par caractéristiques socio-démographiques des sensations thermique perçues "très chaude"

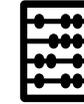
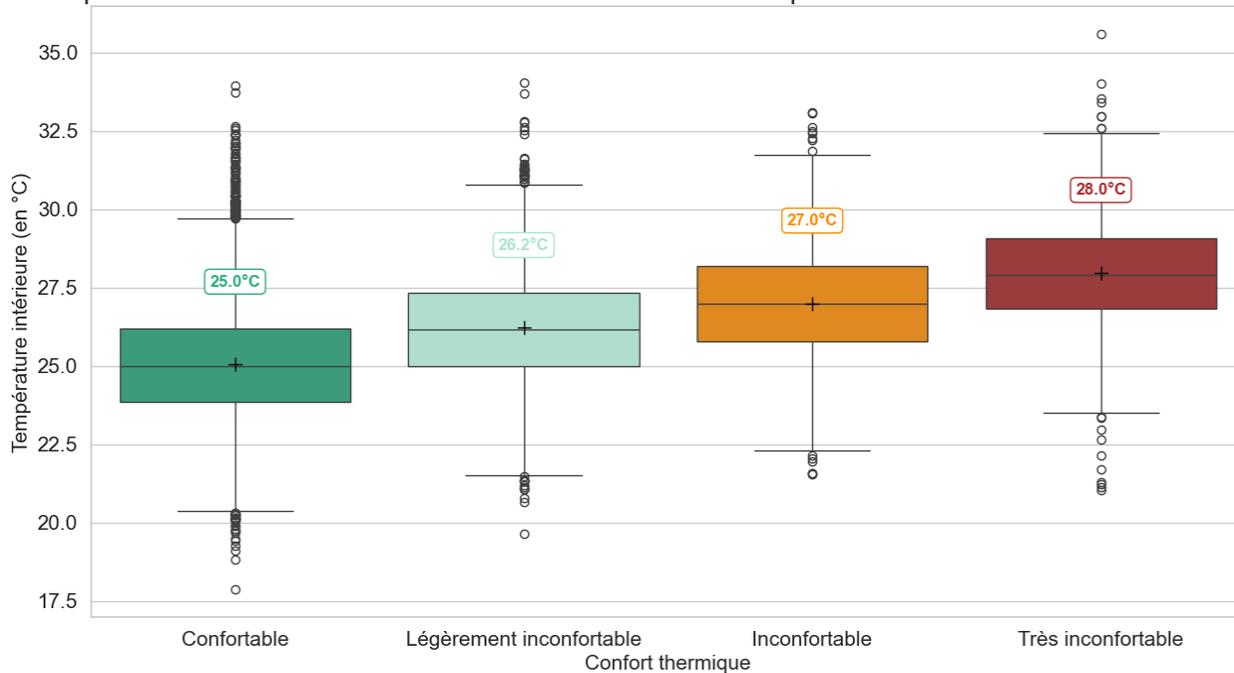


- Les femmes ont plus choisi la modalité « très chaud » pour décrire leur sensation thermique que les hommes.
- La tranche d'âge 25-50 ans a significativement plus déclaré avoir « très chaud » que les catégories d'âge supérieures.
- Les participants avec un IMC élevé ont plus souvent répondu avoir « très chaud » que les deux autres catégories.

IMC

Faible : < 20
Moyen : 20-25
Élevé : > 25

Température intérieure mesurée en fonction du confort thermique déclaré dans un environnement chaud



- **L'inconfort* augmente avec la température intérieure**, et ce, pour l'ensemble des régions.
- **Les participants de la région de la Gironde décrivent leur environnement inconfortable à des seuils de températures plus faibles qu'en Ile de France et au Sud-Est.** Un des facteurs explicatifs peut être l'humidité RH plus élevée en Gironde.

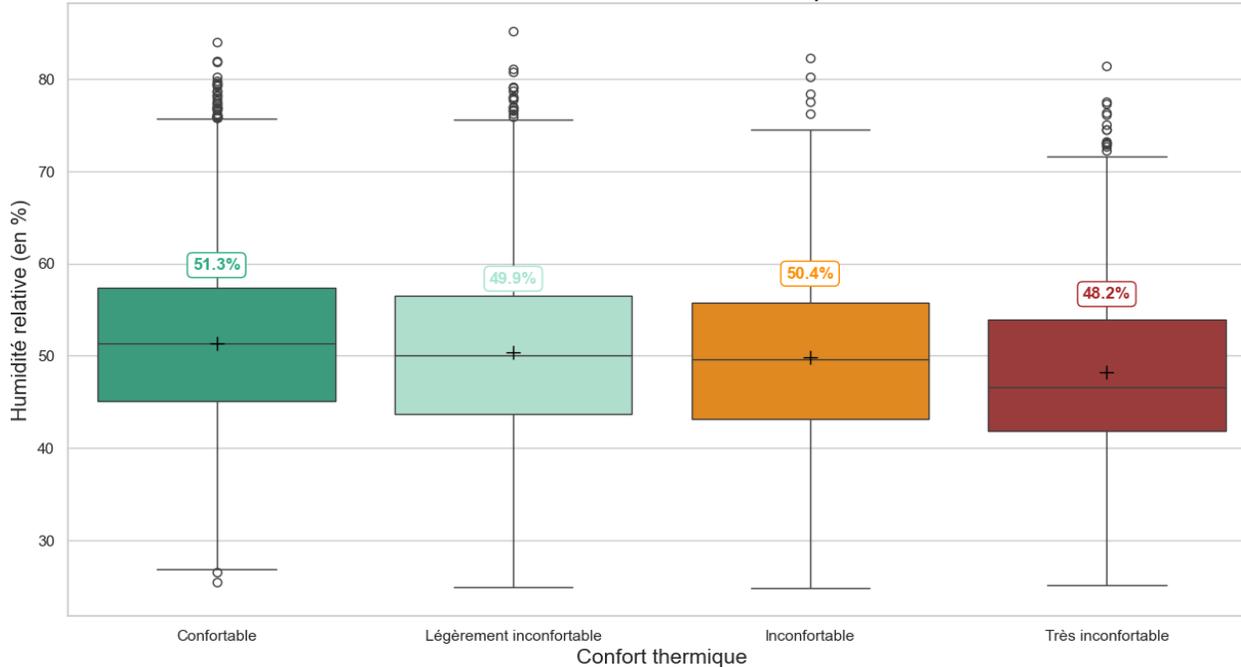
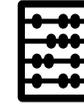
Température intérieure moyenne par niveau de confort et par région

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
Ile-de-France	24,9°C	26,1°C	27,1°C	28,1°C
Gironde	24,6°C	25,6°C	26,0°C	26,6°C
Sud-Est	25,6°C	26,6°C	27,2°C	28,1°C

**Données filtrées sur "Ni chaud ni froid", "Légèrement chaud", "Chaud" et "Très chaud"*

Rappel des éléments de lecture d'un graphique boîte de dispersion en annexe

Humidité relative intérieure mesurée en fonction du confort thermique déclaré dans un environnement chaud

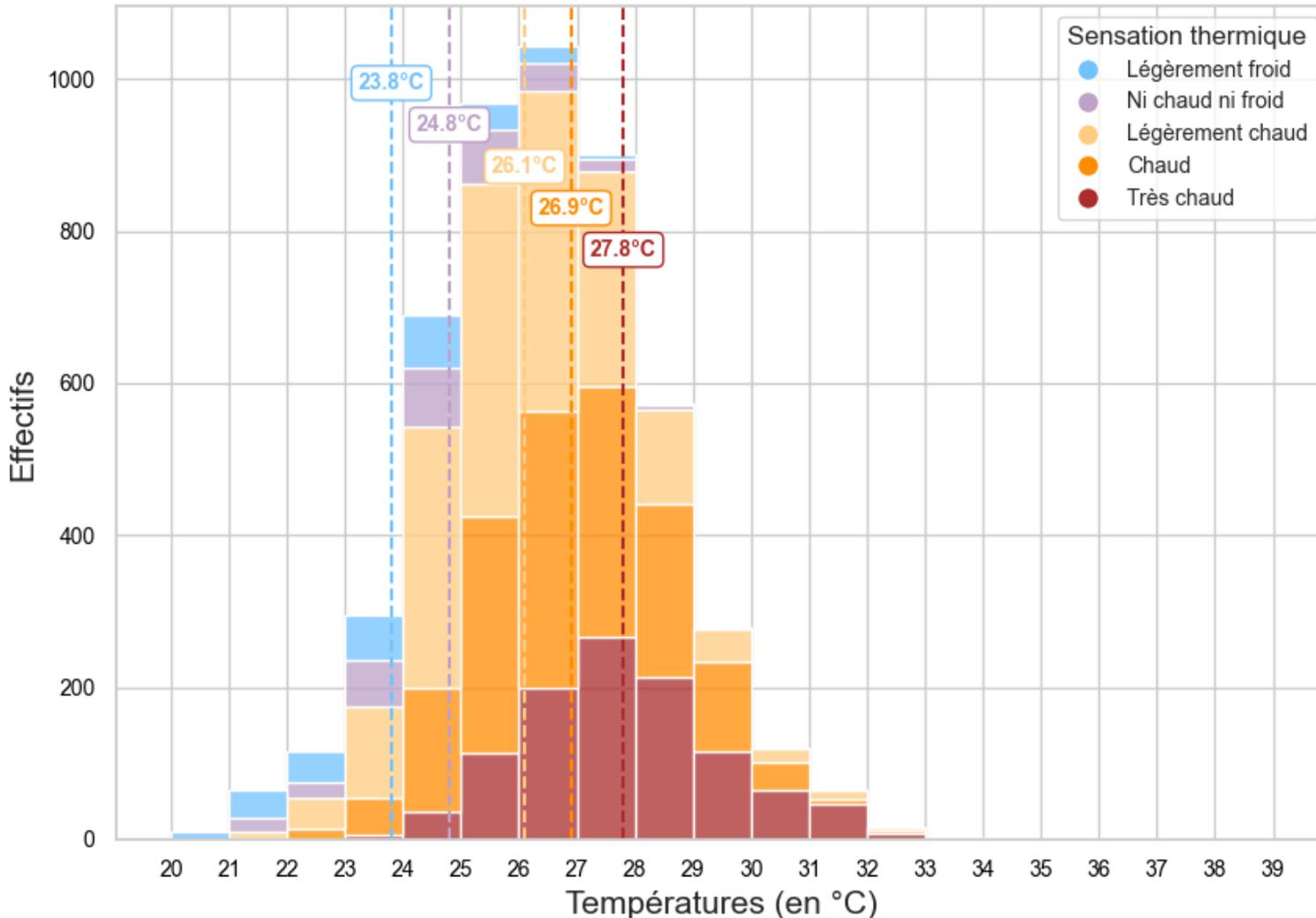


Humidité relative intérieure moyenne par niveau de confort et par région

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
Ile-de-France	49,8%	48,4%	47,1%	45,0%
Gironde	56,5%	57,7%	57,9%	62,8%
Sud-Est	50,4%	49,5%	49,0%	46,9%

- Globalement, **peu d'impact de l'humidité relative intérieure** sur les niveaux et les seuils de confort thermique*.
- Dans les régions à climat plutôt tempéré/méditerranéen, l'humidité relative a tendance à diminuer en période chaude : la **température est le paramètre le plus impactant** sur le confort thermique.
- **En Gironde, qui bénéficie de l'influence plus marquée de l'océan, l'inconfort augmente avec l'humidité relative.**

*Données filtrées sur "Ni chaud ni froid", "Légèrement chaud", "Chaud" et "Très chaud"

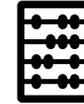
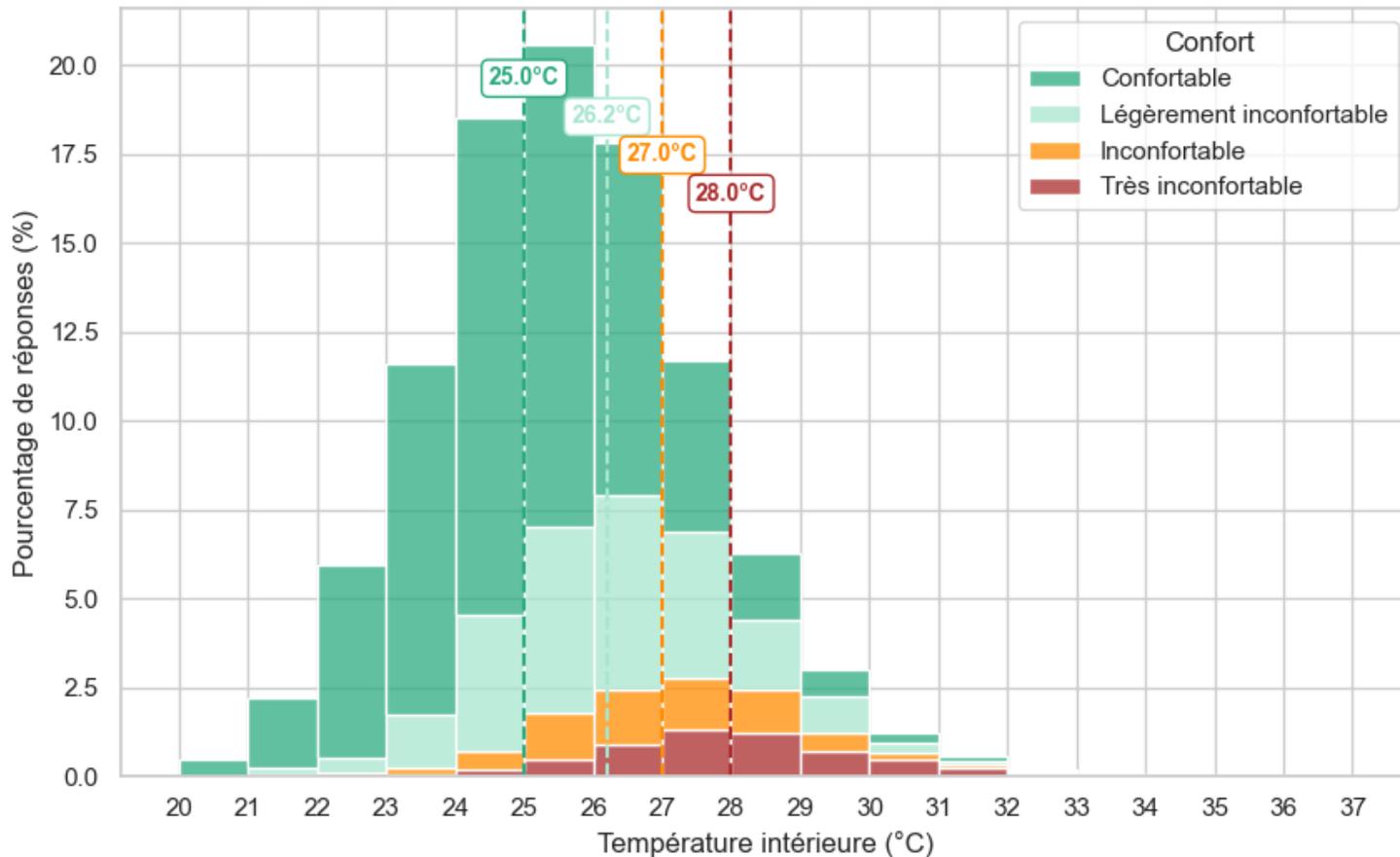


- Un environnement thermique estival **inconfortable*** est principalement caractérisé par des sensations thermiques ressenties **légèrement chaudes (26,1°C)**, **chaudes (26,9°C)** et **très chaudes (27,8°C)**.
- Les sensations « chaudes » et « très chaudes » sont associées respectivement à 82% et 90% avec la déclaration d'inconfort.

**Données filtrées sur les modalités "Légèrement inconfortable", "Inconfortable" et "Très inconfortable"*

Aide à l'interprétation des analyses statistiques (Corrélation en annexe)

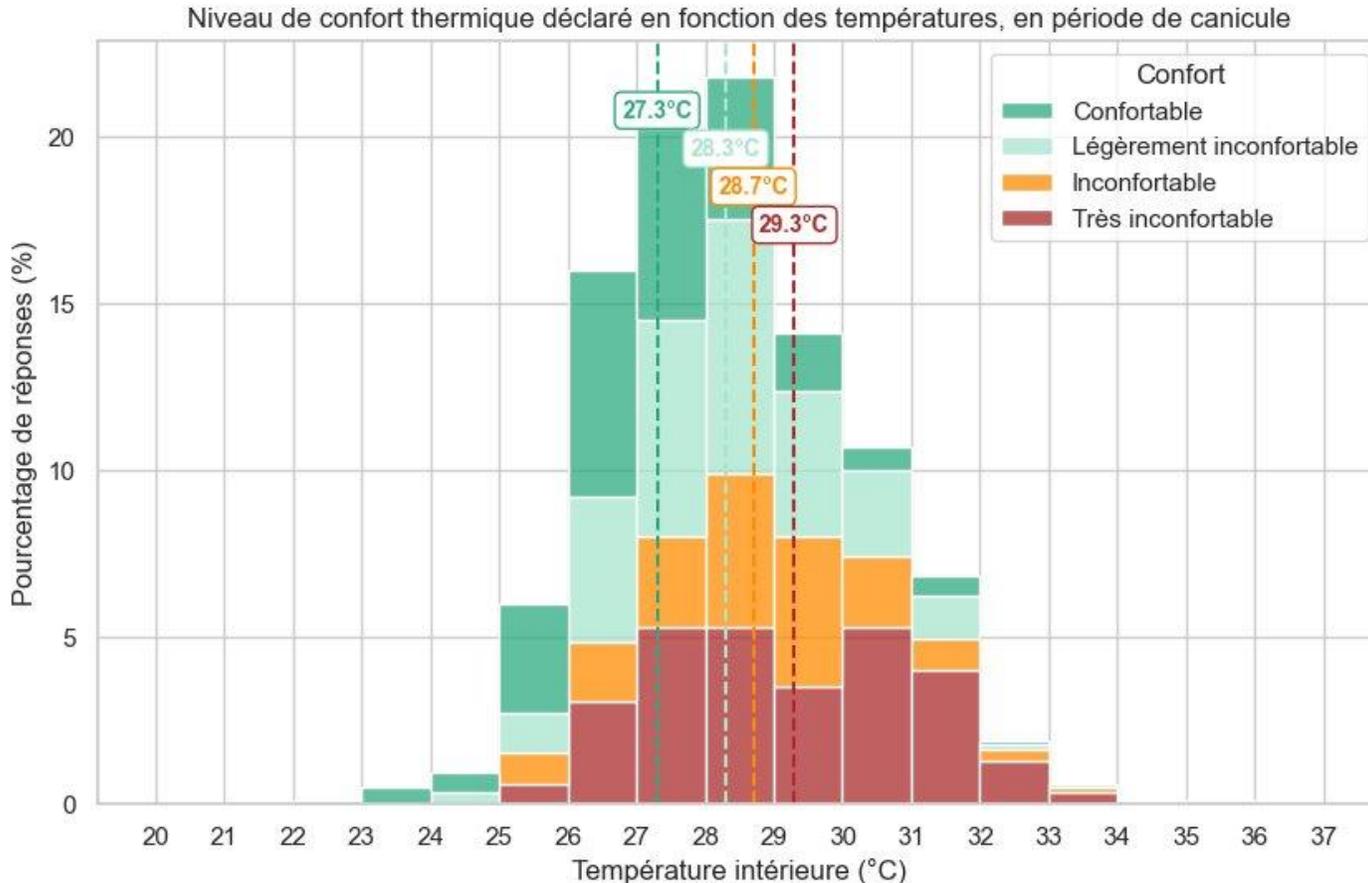
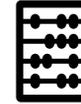
Distribution* du niveau de confort déclaré selon la température intérieure mesurée



- **Seuil** de confort moyen** établi à une température de **25°C** en période estivale
- **Seuil d'inconfort élevé** correspond à la limite haute du seuil de la RE2020 (**28°C**)
- **Seuil d'inconfort léger** correspond à la limite basse du seuil de la RE2020 (**26°C**)

**Données filtrées sur "Ni chaud ni froid", "Légèrement chaud", "Chaud" et "Très chaud"*

***Les seuils correspondent à la moyenne de température intérieure mesurée pour chacune des modalités de réponse au questionnaire*



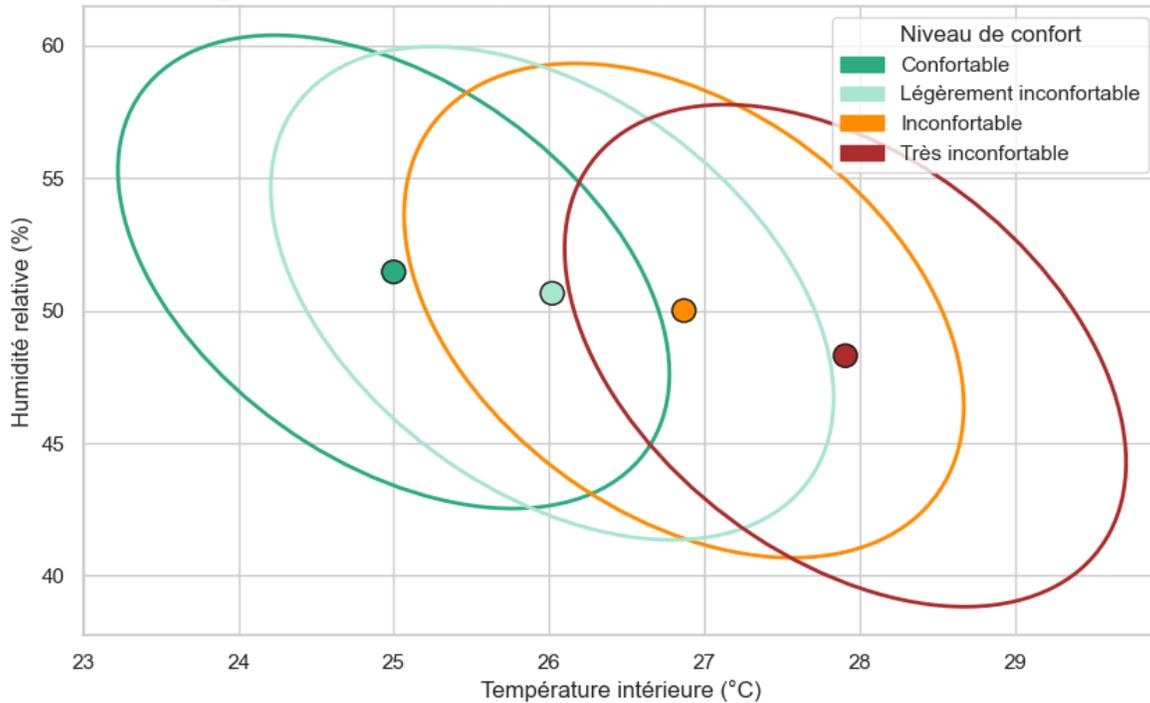
- Les **températures seuils* d'inconfort augmentent en période de canicule**** (environ **2°C** supplémentaires).
- La canicule est arrivée tardivement ; cette augmentation des seuils tient également compte de l'acclimatation des occupants.
- Vers une évolution des limites du seuil adaptatif de la RE2020 ?

**Les seuils correspondent à la moyenne de température intérieure mesurée pour chacune des modalités de réponse au questionnaire*

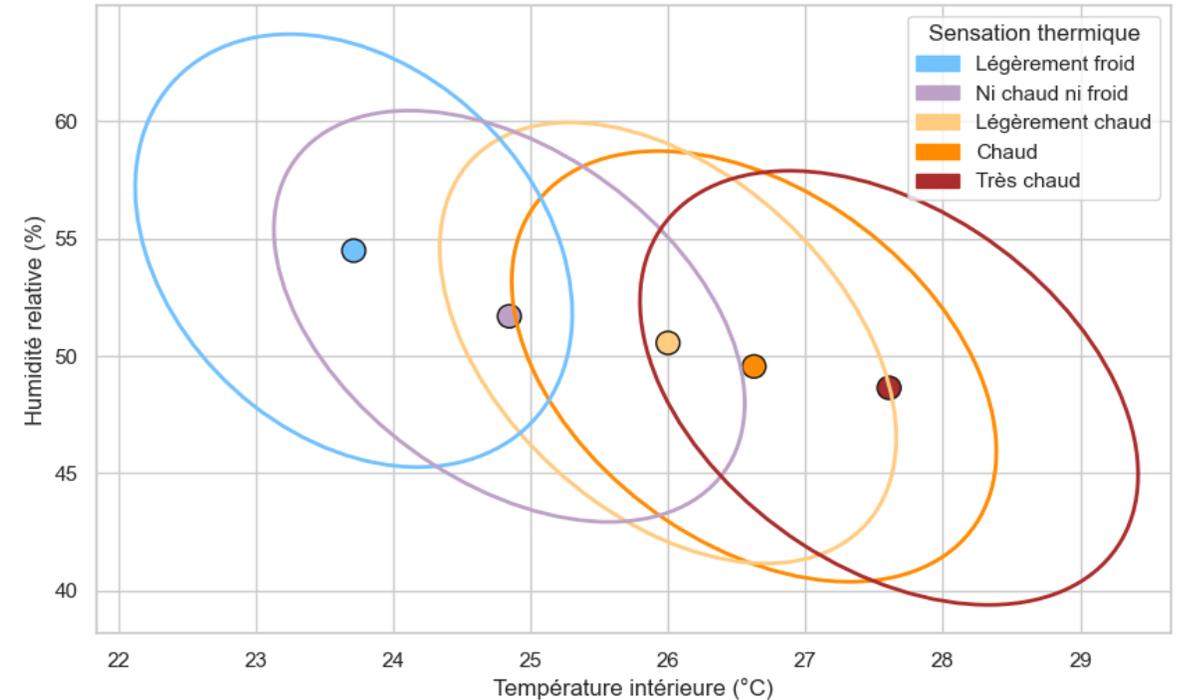
***Les périodes de canicules régionales retenues pour l'année 2023 sont :*

- > Gironde : du 19/08 au 25/08
- > Ile-de-France : du 05/09 au 11/09
- > Sud-Est : du 19/08 au 25/08

Barycentres du confort thermique selon la température et l'humidité relative intérieure



Barycentres de la sensation thermique selon la température et l'humidité relative intérieure

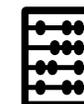
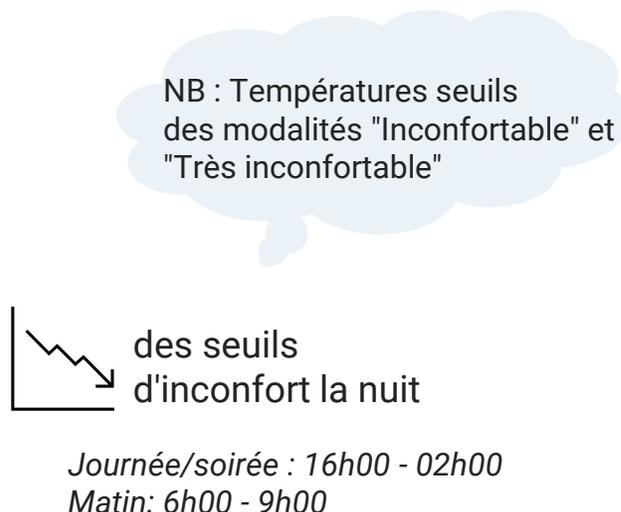


*Les ellipses correspondent à une couverture de 68% des données

- **L'influence principale sur le confort et la sensation thermique est portée par l'axe des températures.**
- Cette représentation elliptique intègre également l'influence des autres facteurs (caractéristiques individuelles, variations des conditions extérieures).
- Malgré une grande variabilité dans la réponse des participants, le nombre important de volontaires permet de discriminer les barycentres de manière ordonnée sur l'axe des températures.

Effet du moment de la journée

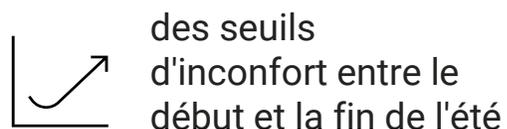
	 Journée/ soirée	 Matin
IDF	27,5°C	26,2°C
GIR	26,2°C	25,4°C
SE	27,8°C	27,2°C



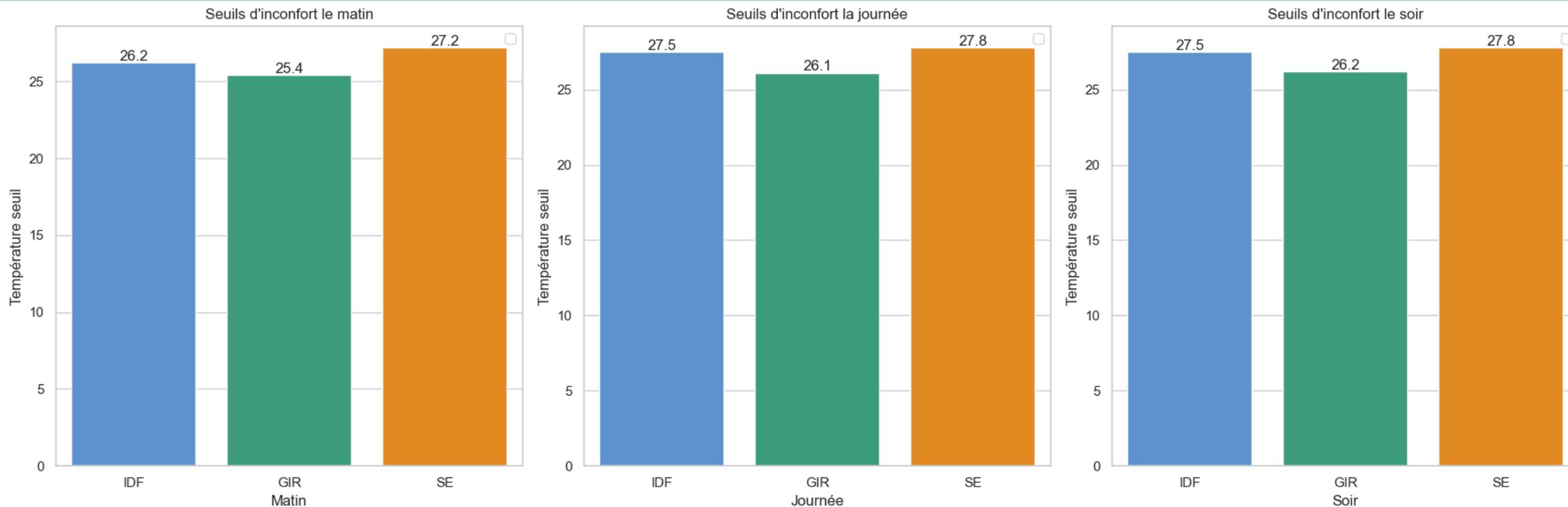
- Les seuils d'inconfort sont plus faibles le matin : la **chaleur est moins supportée juste après la nuit (~ -1°C)**
- Adaptation des occupants aux températures élevées entre le début et la fin de l'été sauf au SE.

Effet d'acclimatation entre juin et septembre

	 Juin	 Septembre
IDF	27,2°C	28,0°C
GIR	25,4°C	26,0°C
SE	26,5°C	25,8°C



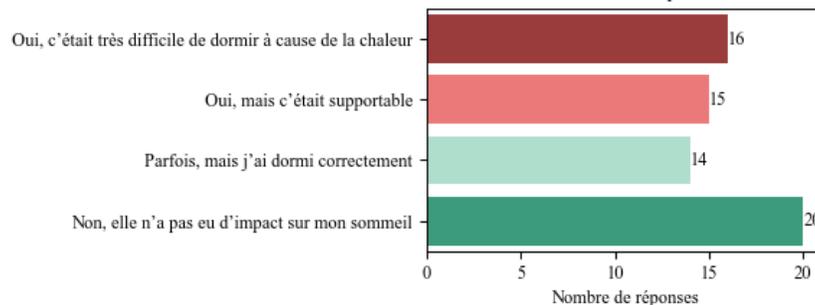
Il a fait plus chaud au SE dès le mois de mai et sur toute la période d'étude : lassitude des occupants après la période de canicule ?



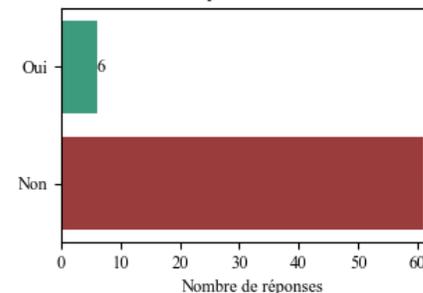
*Matin : 06h00 - 09h00
 Journée : 16h00 - 20h00
 Soir : 21h00 - 02h00

- Les seuils d'inconfort sont plus faibles le matin ($\sim -1^{\circ}\text{C}$) que la journée : **les attentes et les niveaux de tolérance des occupants diffèrent à l'échelle de la journée.**

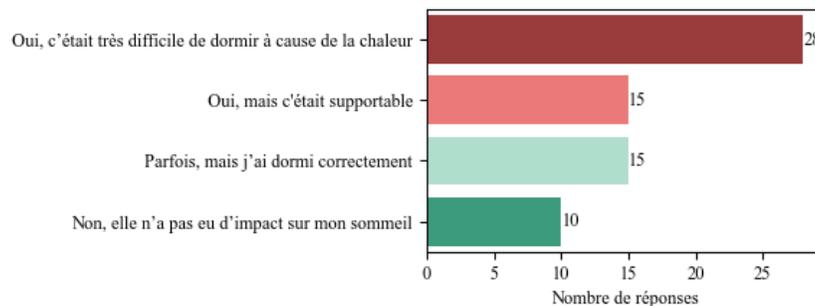
Est-ce que la chaleur a impacté votre sommeil en période estivale classique ?



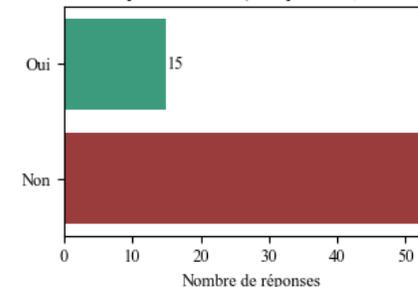
Avez-vous parfois dormi en dehors de votre logement pour trouver plus de fraîcheur ?



Est-ce que la chaleur a impacté votre sommeil en période estivale de fortes chaleurs ?



Pendant les nuits très chaudes est-ce que vous avez dormi dans un autre endroit que votre chambre pour être dans une ambiance plus fraîche ? (canapé salon, terrasse,...)



- 30% du panel déclare **que la chaleur n'a pas d'impact sur son sommeil** en été classique, contre 15% en canicule
- 25 % du panel déclare « **c'était très difficile de dormir à cause de la chaleur** » en été classique, contre 41% en canicule

Objectif

Caractériser le niveau de confort thermique sur toute la période expérimentale (4 mois)

Données disponibles

Réponses au questionnaire 3x/jour

Températures moyennes intérieures

Méthode

Calcul des proportions de temps d'inconfort

En fonction des températures seuils d'inconfort, issues des réponses au questionnaire*

Selon le principe de calcul du DH : somme des heures inconfortables quand les températures moyennes intérieures mesurées dépassent ce seuil

*Régionalisation des seuils d'inconfort :

Température seuil « **Légèrement inconfortable** » (°C) Température seuil « **inconfortable** » (°C) Température seuil « **très inconfortable** » (°C)

IDF

25,9°C

27,0°C

27,9°C

GIR

25,4°C

25,9°C

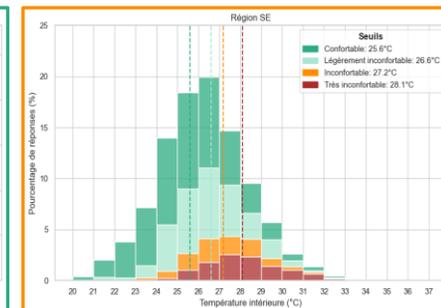
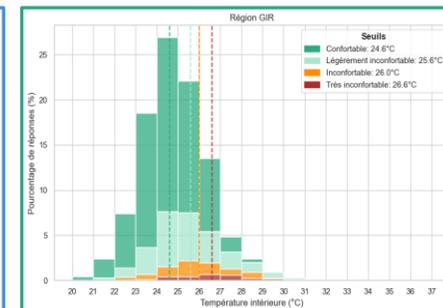
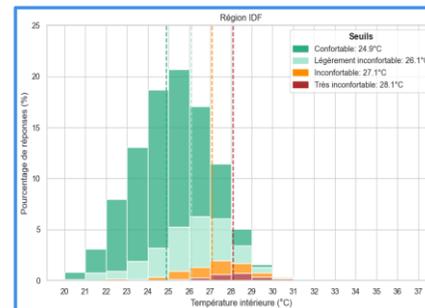
26,5°C

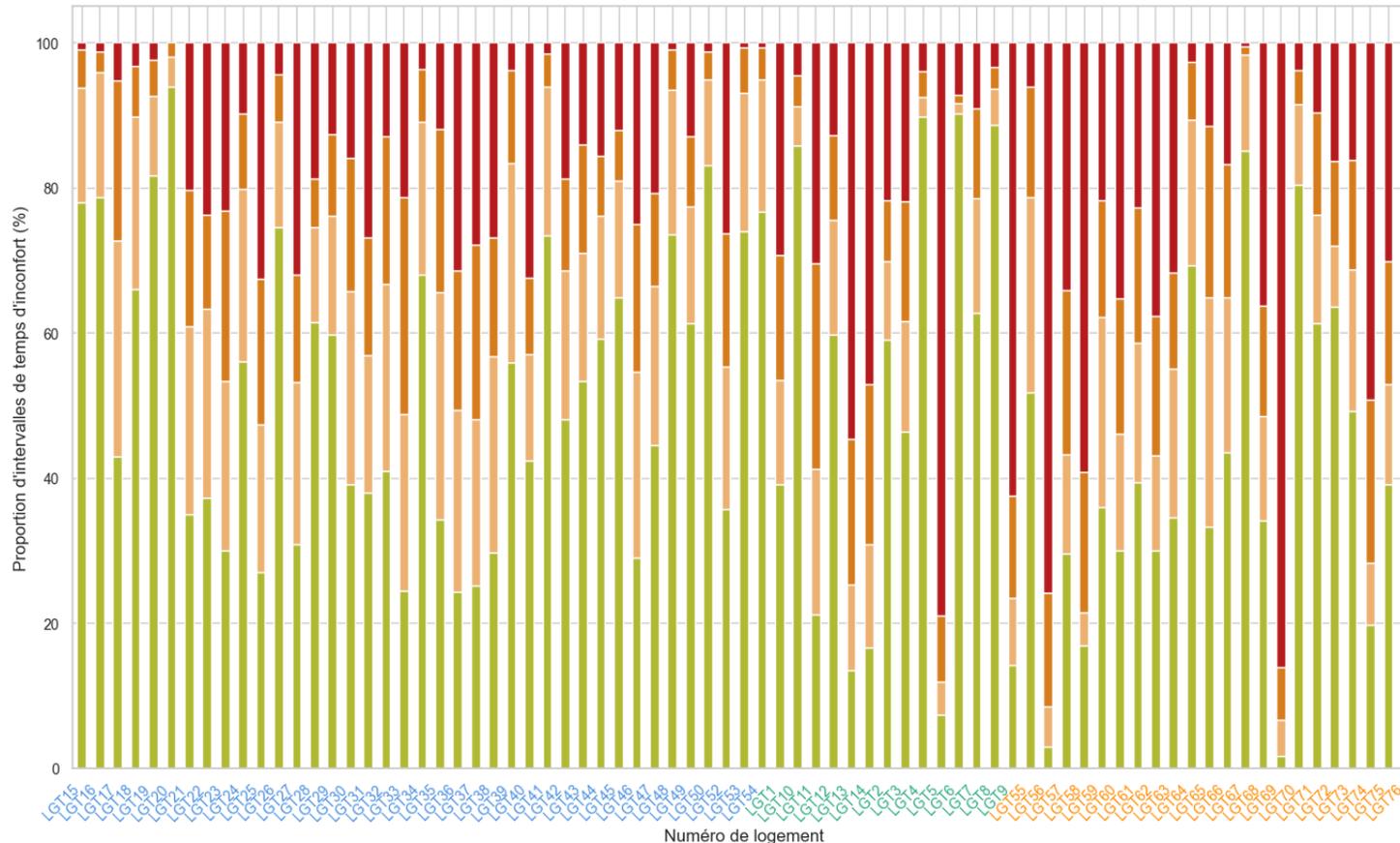
SE

26,4°C

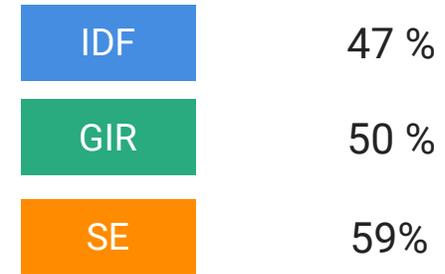
27,2°C

28,1°C



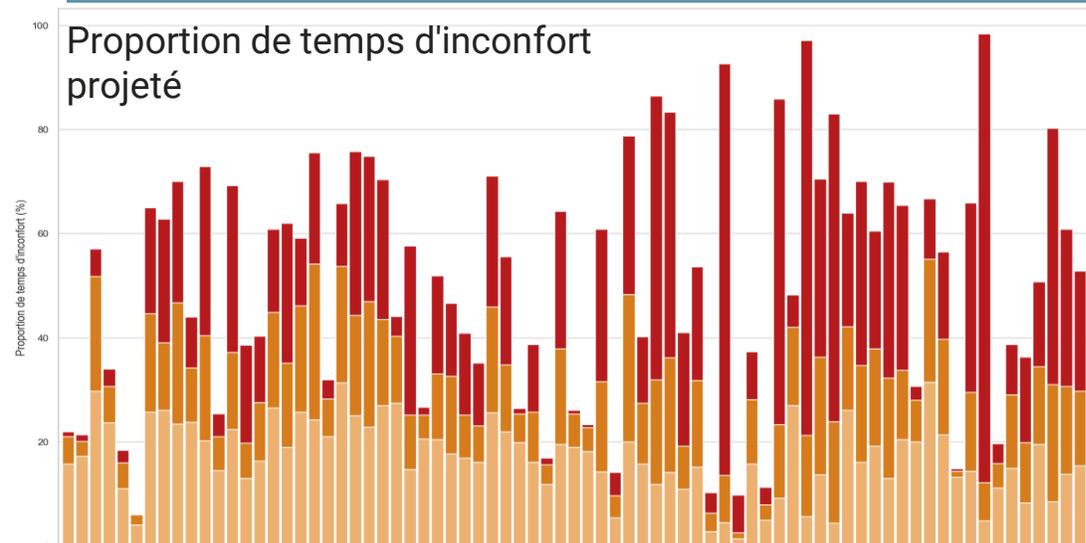


Proportions moyennes de temps d'inconfort projeté par régions

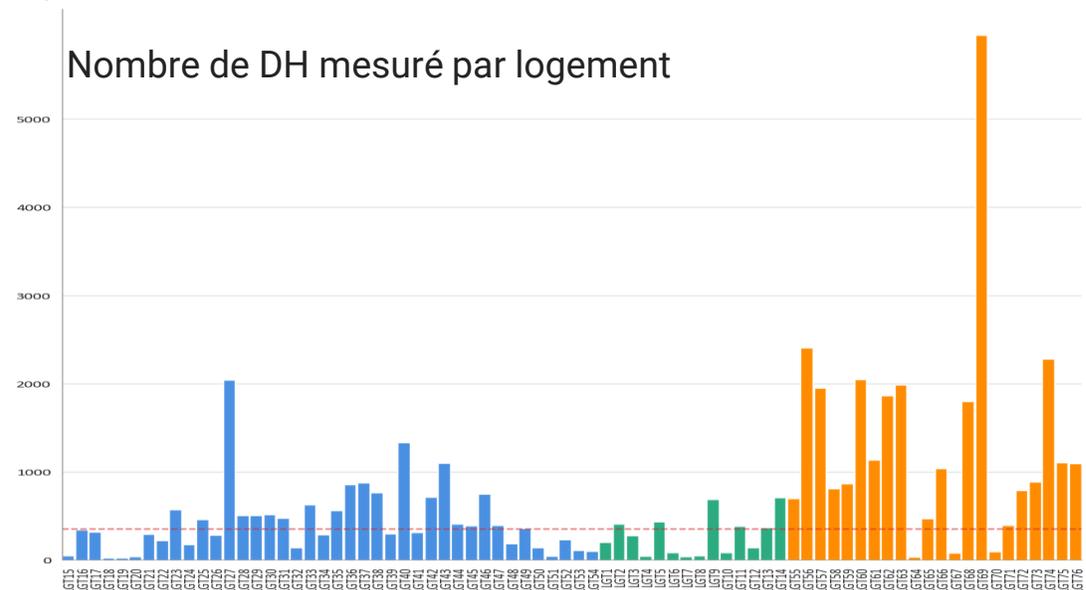


- Les logements ayant les proportions de temps d'inconfort projeté les plus importantes se situent majoritairement dans la région Sud-Est.

Proportion de temps d'inconfort projeté



Nombre de DH mesuré par logement



- Les logements ayant les proportions de **temps d'inconfort projeté les plus importantes** sont également ceux ayant les **DH les plus élevés** pour chaque région
- Le nombre de **DH mesurés est corrélé à 66%** avec la **proportion de temps d'inconfort projeté** pour les catégories « Inconfortable » et « Très inconfortable », et à 59% lorsque l'on inclut « Légèrement inconfortable » (sur l'ensemble des 76 logements)
- En région Gironde, le taux d'inconfort déclaré est élevé pour un DH mesuré faible >> **Limite de l'indicateur DH qui ne tient pas compte de l'humidité relative**

* Le calcul du DH mesuré est effectué à partir de la température moyenne du logement, avec la méthode du seuil adaptatif, en tenant compte du scénario d'occupation

- La réglementation définit un temps équivalent d'inconfort pour deux seuils :
 - 350 DH - seuil de confort acceptable (~ 1 semaine d'inconfort par an)
 - 1250 DH - seuil de confort critique (~ 4 semaines d'inconfort par an)

- Les temps d'inconfort projeté ont été déterminés pour 3 cas (C1, C2 et C3) prenant un compte les différents types d'inconfort (léger, moyen, élevé).

- **< 350 DH** : 7 % de très inconfortable
- **350 < DH < 1250** : 26 % de très inconfortable
- **> 1250 DH** : 45 % de très inconfortable

➔ Résultats à nuancer du fait que l'échelle de projection des temps d'inconfort est calculée à partir de ressentis moyens qui diffèrent d'un individu à un autre, d'une région à une autre, par période de l'été, et par heure de la journée

	< 350 Dh		350 < Dh < 1250		> 1250 Dh	
	Temps d'inconfort	Equivalence en jours	Temps d'inconfort	Equivalence en jours	Temps d'inconfort	Equivalence en jours
C1	33%	39,6	61%	73,2	74%	88,8
C2	16%	19,2	42%	50,4	61%	73,2
C3	7%	8,4	26%	31,2	45%	54,0

C1 : "Légèrement inconfortable", "Inconfortable", "Très inconfortable"
 C2 : "Inconfortable" et "Très inconfortable"
 C3 : "Très inconfortable"



Les temps d'inconfort projeté et leur équivalence en jours ont été enregistrés sur les 4 mois de la campagne expérimentale. Il serait donc possible que ces chiffres soient légèrement plus faibles que s'ils avaient été projetés sur une année complète.

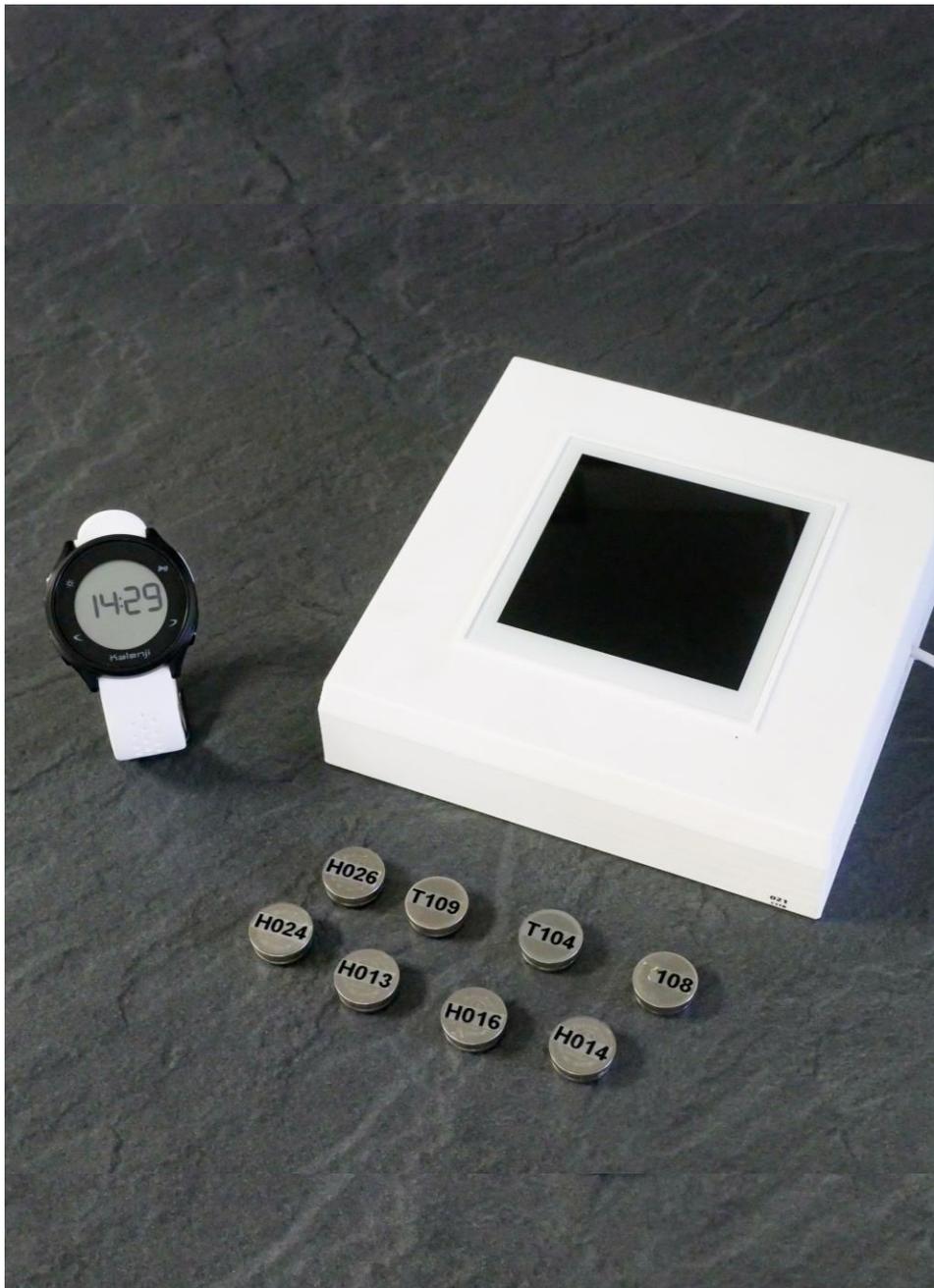
Valorisation des travaux via la rédaction d'un article de conférence :



Haese Gwénaëlle, Rollet Clara, Bernard Hugo, Couzinet Anthony (2025)

Construction of a summer thermal comfort scale and projection of hot discomfort durations in dwellings

Conférence CLIMA 2025, Milan, 4-6 juin 2025



Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé

Analyses des mesures physiologiques
sur les 19 logements concernés par
l'étude complémentaire

Données environnementales et déclaratives



76 couples logements/sujets



17 662 réponses au questionnaire
sur l'ensemble de la campagne



477 observations avec des mesures de
température et humidité relative non exploitables
retirées du jeu de données initial



Jeu de données final comportant
17 185 observations

Données physiologiques



19 couples logements/sujets
Équipés de capteurs physiologiques
pendant 1 semaine

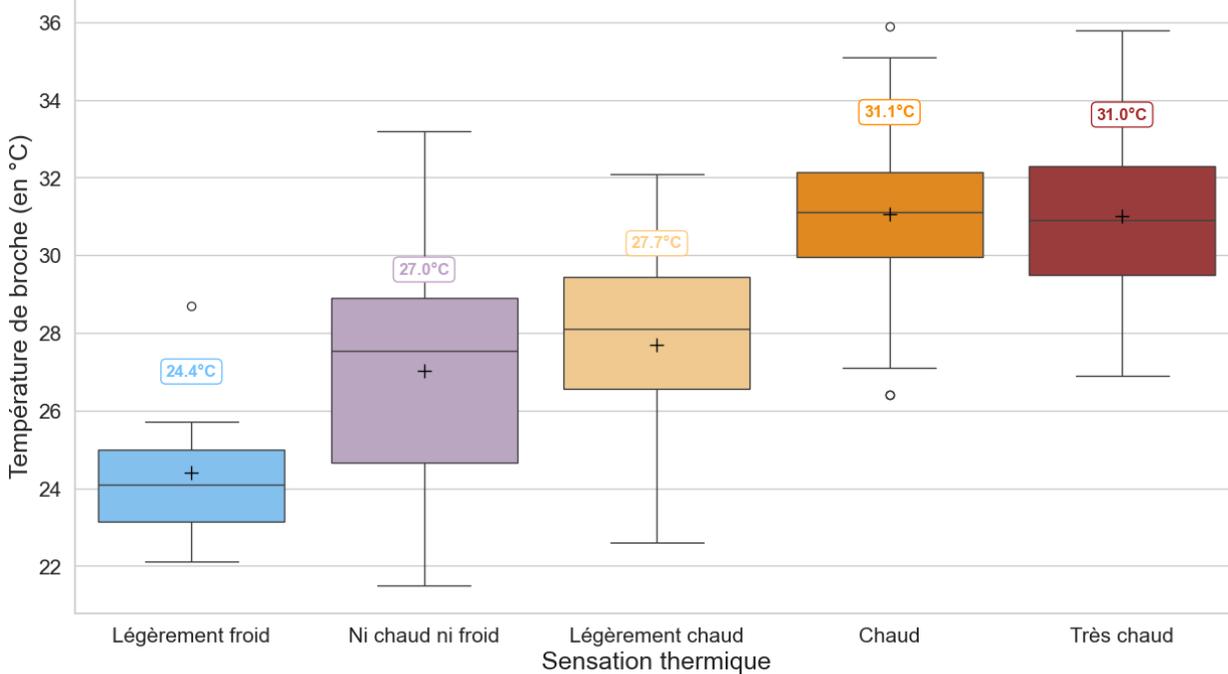


221 réponses au questionnaire
sur la phase avancée de l'étude

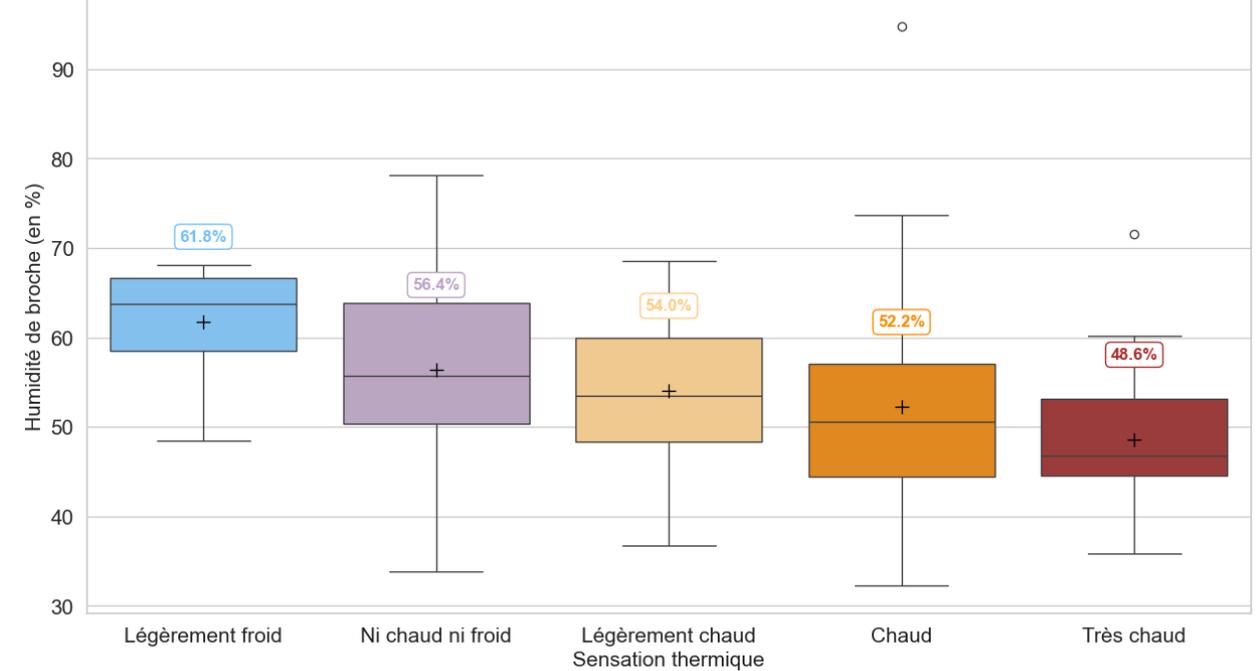


Jeu de données "panel avancé"
comportant 221 observations

Température de broche mesurée sur les panelistes en fonction de la sensation thermique ressentie



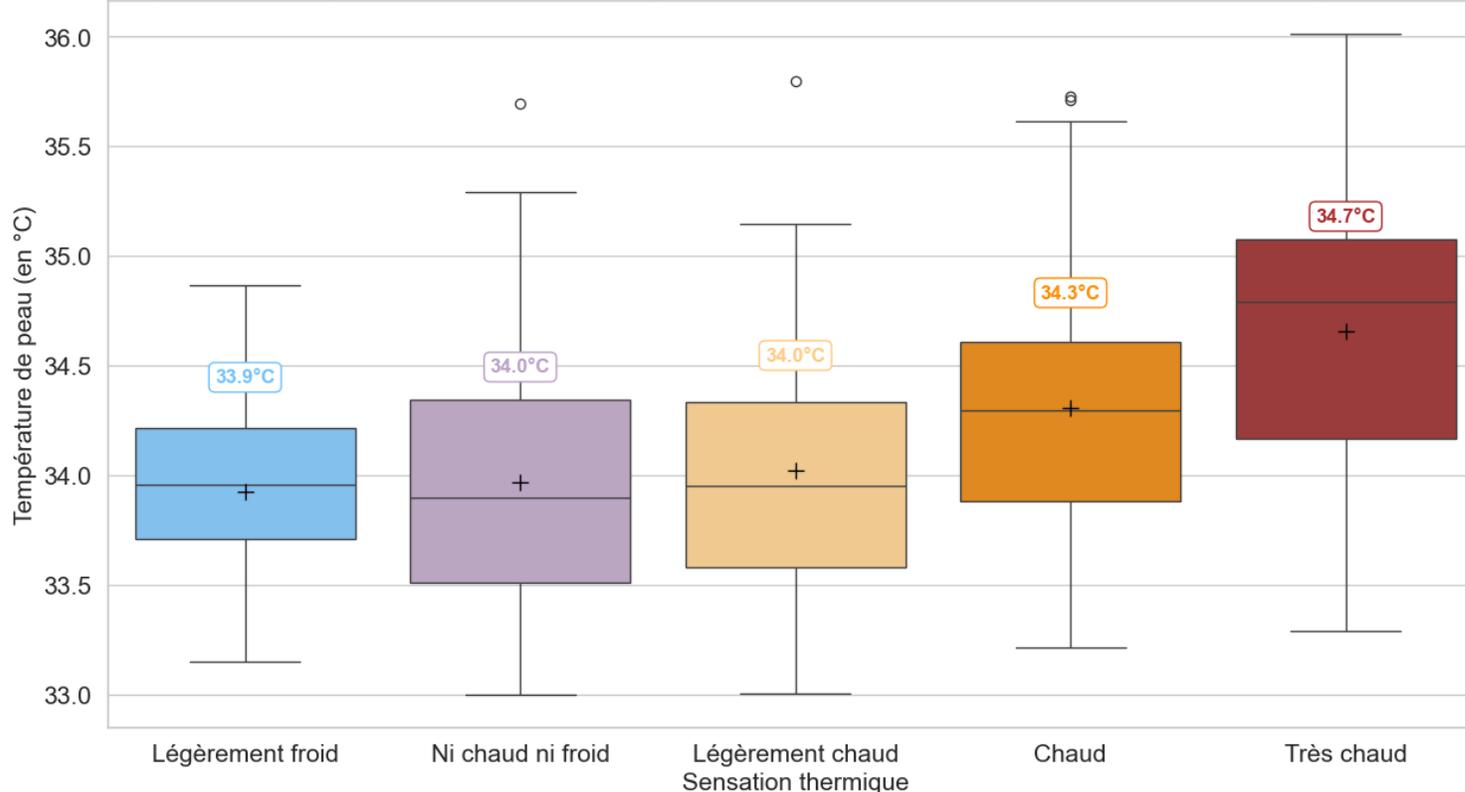
Humidité de broche mesurée sur les panelistes en fonction de la sensation thermique ressentie



- Impact de la température de l'environnement proche sur la sensation thermique : plus la température du micro-environnement augmente, plus la sensation thermique devient chaude.
- En climat tempéré, le micro-environnement montre les mêmes tendances que l'environnement global avec des températures élevées souvent associés à une humidité relative plus faible.



Température de peau mesurée sur les panélistes en fonction de la sensation thermique ressentie

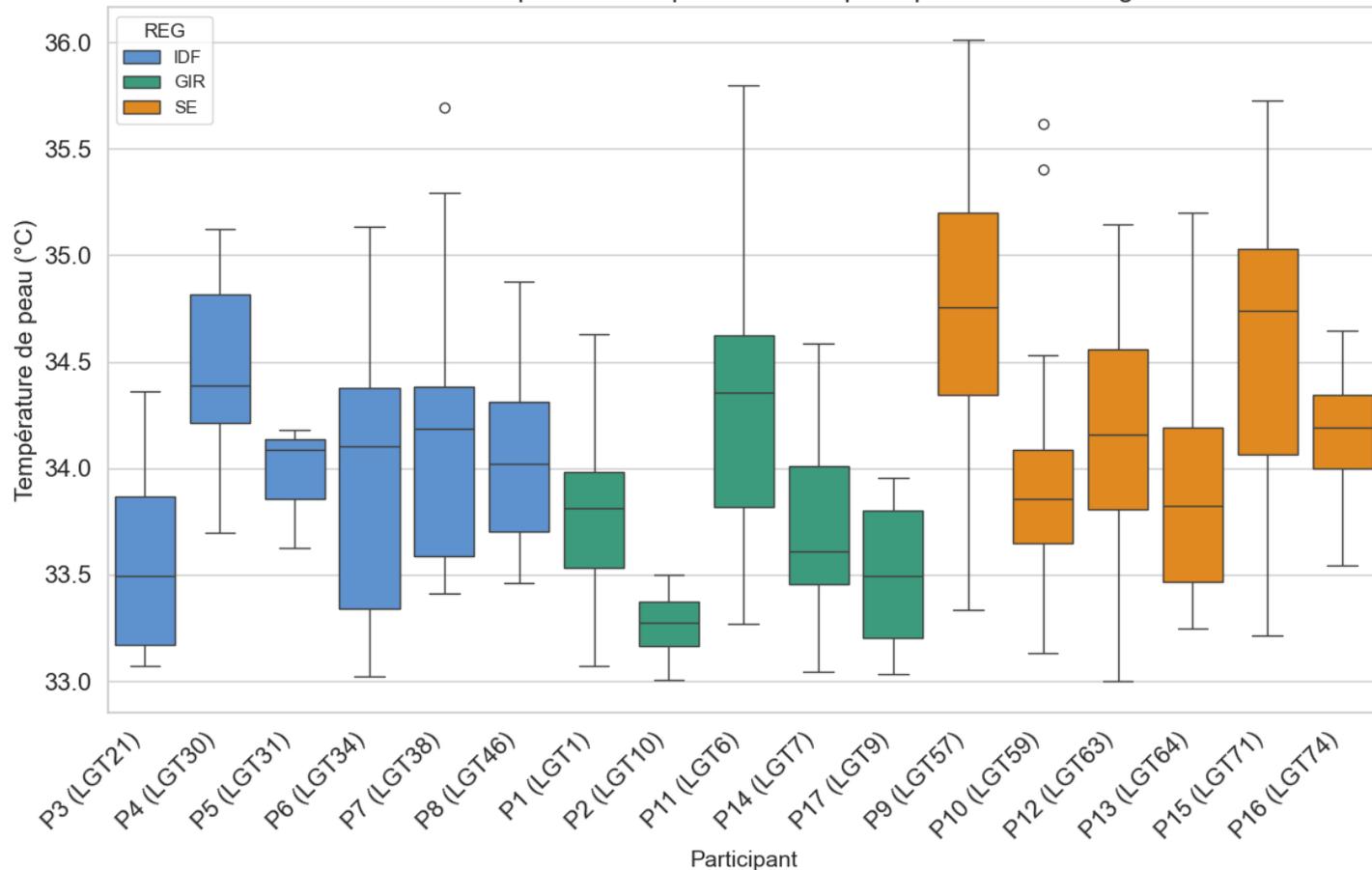


- **Adéquation entre la sensation thermique ressentie et les réponses physiologiques.**
- La **température moyenne de peau** pour une sensation thermique **neutre** est de **34°C en moyenne**.
- Les **températures de peau** globales sont significativement **plus élevées** pour les sensations thermiques « **chaudes** » et « **très chaudes** ».

	Ile-de-France	Gironde	Sud-Est
Nombre de points de mesures	67 (30 %)	49 (22 %)	105 (48 %)
Température de peau moyenne (°C)	34,1	33,9	34,3

> Test de Tuckey significatif entre "Ni chaud ni froid" / "Chaud" et entre "Ni chaud ni froid" / "Très chaud"
*Annexe : aide à l'interprétation des analyses statistiques (Test de Tuckey)

Variabilité des températures de peau entre les participants selon les régions

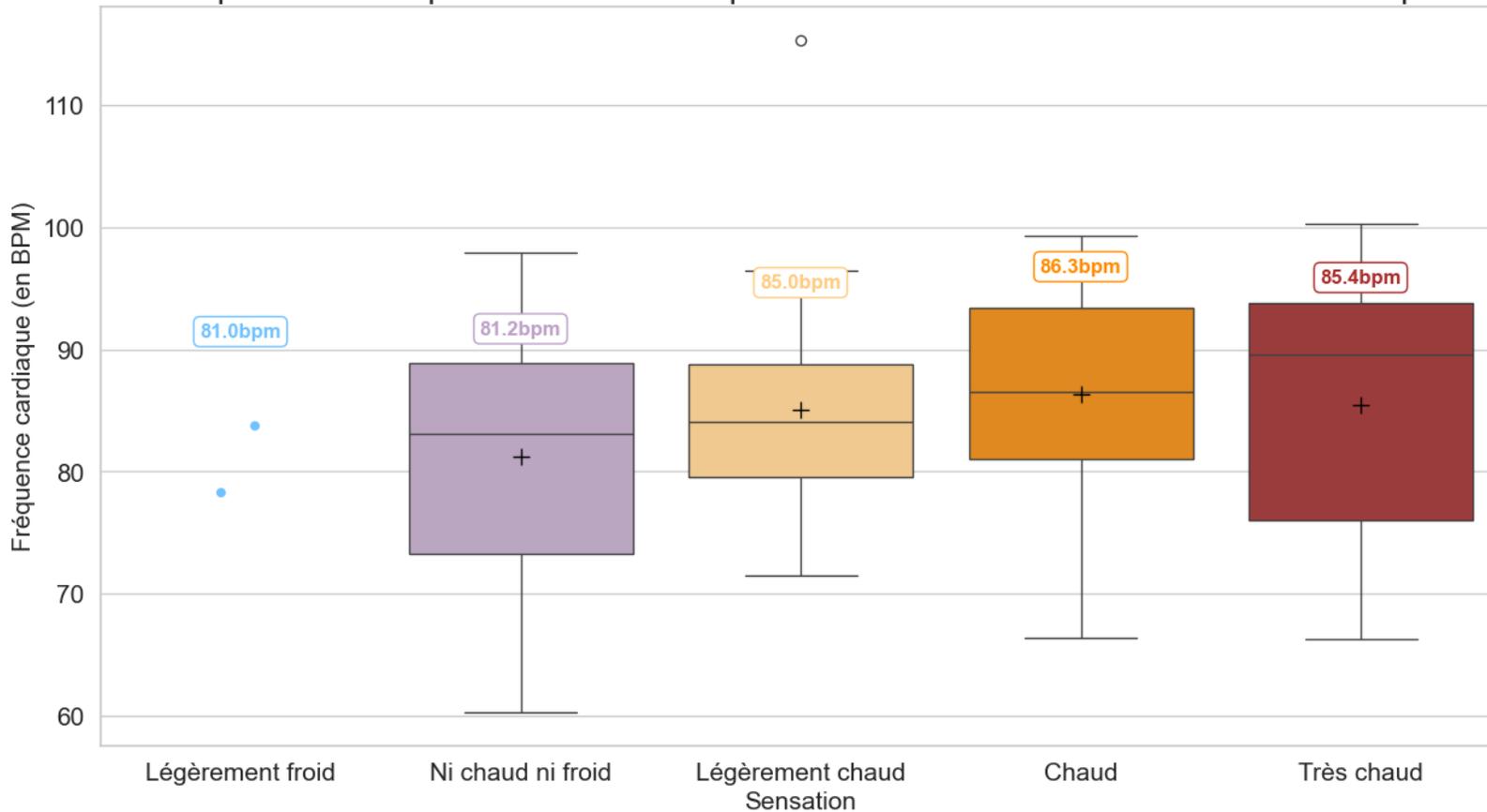


- Les caractéristiques physiologiques, l'exposition à des facteurs environnementaux et des comportementaux uniques peuvent affecter la température cutanée.



- Cette variabilité peut mener à une perception de surchauffe individuelle différente, remettant en question l'universalité des seuils définis.

Fréquence cardiaque mesurée sur les panelistes en fonction de la sensation thermique



- **Adéquation entre la sensation thermique ressentie et les réponses physiologiques.**
- La **fréquence cardiaque** est en moyenne significativement **plus élevée** pour les sensations thermiques « **chaudes** » et « **très chaudes** » (~ + 4 BPM en moyenne) par rapport aux sensations thermiques « neutres » ou « légèrement froides ».

Projection des proportions de temps par niveau de sensation thermique et par participant à partir des températures de peau

Objectif

Caractériser le niveau de d'exposition thermique individuelle à partir des températures de peau sur toute la période expérimentale (1 semaine)

Données disponibles

Réponses au questionnaire 3x/jour

Températures individuelles de peau

Méthode

Calcul des proportions de temps passé par modalité de sensation thermique

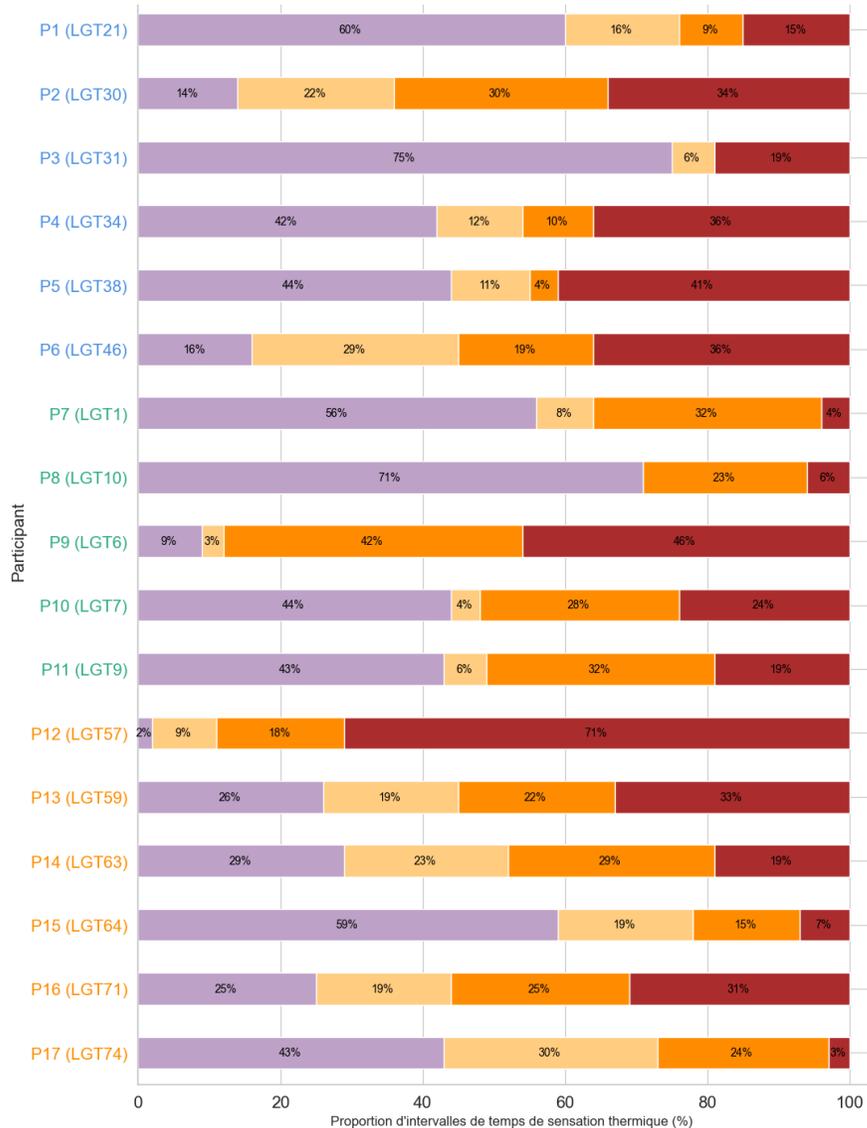
En fonction des températures de peau seuils, croisées avec les réponses au questionnaire*

Selon le principe de calcul du DH : somme des heures passées par modalité de sensation thermique en fonction des températures de peau moyennes mesurées

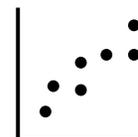
*Régionalisation des seuils de températures de peau :

	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
Ile-de-France	$T_{\text{peau}} < 34,0^{\circ}\text{C}$	$34,0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 34,4^{\circ}\text{C}$	$34,4^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 34,7^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{peau}} \geq 34,7^{\circ}\text{C}$
Gironde	$T_{\text{peau}} < 33,8^{\circ}\text{C}$	$33,8^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 33,9^{\circ}\text{C}$	$33,9^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 34,7^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{peau}} \geq 34,7^{\circ}\text{C}$
Sud-Est	$T_{\text{peau}} < 33,9^{\circ}\text{C}$	$33,9^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 34,3^{\circ}\text{C}$	$34,3^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{peau}} < 34,7^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{peau}} \geq 34,7^{\circ}\text{C}$

Projection des proportions de temps par niveau de sensation thermique et par participant à partir des températures de peau



- Une projection des temps passés par modalité de sensation thermique à partir des températures de peau peut servir d'**indice d'exposition thermique individuel**, issue d'une réponse à une température opérative.
- Cet indice intègre les conditions thermiques vécues à l'intérieur du logement mais également celles liées aux activités extérieures des sujets
- Par exemple, les sujets P12 et P9 ont un indice d'exposition thermique élevé alors que leur logement n'était pas particulièrement inconfortable (respectivement presque 50% et 90% du temps confortable). Ils ont peut-être une activité ou un travail extérieur qui les expose à la chaleur.



- Les températures de peau mesurées sont très corrélées à la perception déclarée des occupants
 - **On objective que les occupants ont chaud !**
- Développement d'un indice d'exposition thermique individuel
 - Pas uniquement lié à la surchauffe du logement mais également aux activités extérieures des sujets
 - A partir du calcul de seuils de température de peau en lien avec la sensation d'inconfort
 - Permet d'identifier des sujets à risque



Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé

Comparaison à l'indicateur
réglementaire

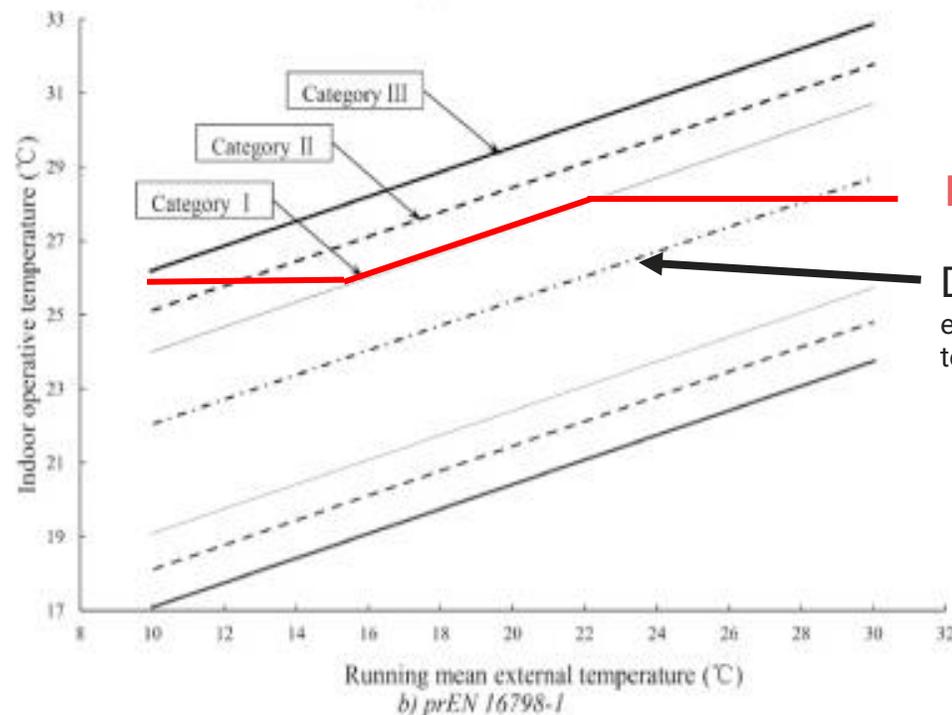
Catégorie I : bâtiment accueillant du public sensible

Catégorie II : bâtiment neuf

Catégorie III : bâtiment existant

Limite RE2020 : plus conservatrice que toutes les catégories du confort adaptatif de la norme européenne (bornée à 28°C la journée et à 26°C la nuit)

Limite des catégories de confort



Limite RE2020

Droite du confort (régression empirique entre température de confort et température extérieure moyenne glissante)

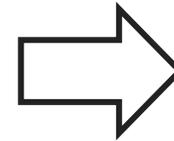
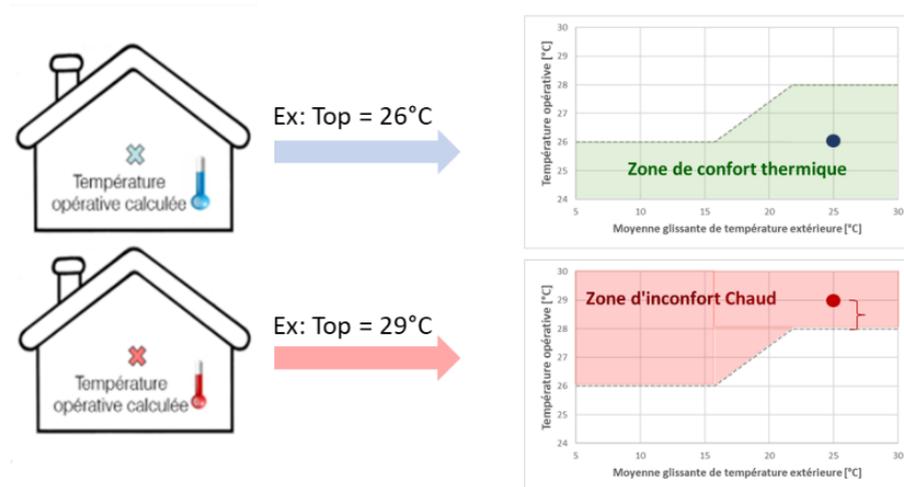
Degré.heure (DH) d'inconfort:

- indicateur RE2020 "confort d'été"
- seuils définis pour des bâtiments neufs.
- pas de retour d'expérience pour les bâtiments existants.

Seuils :

< 350 D°.h : bâtiment confortable

350 – 1250 D°.h : bâtiment confortable avec forfait clim



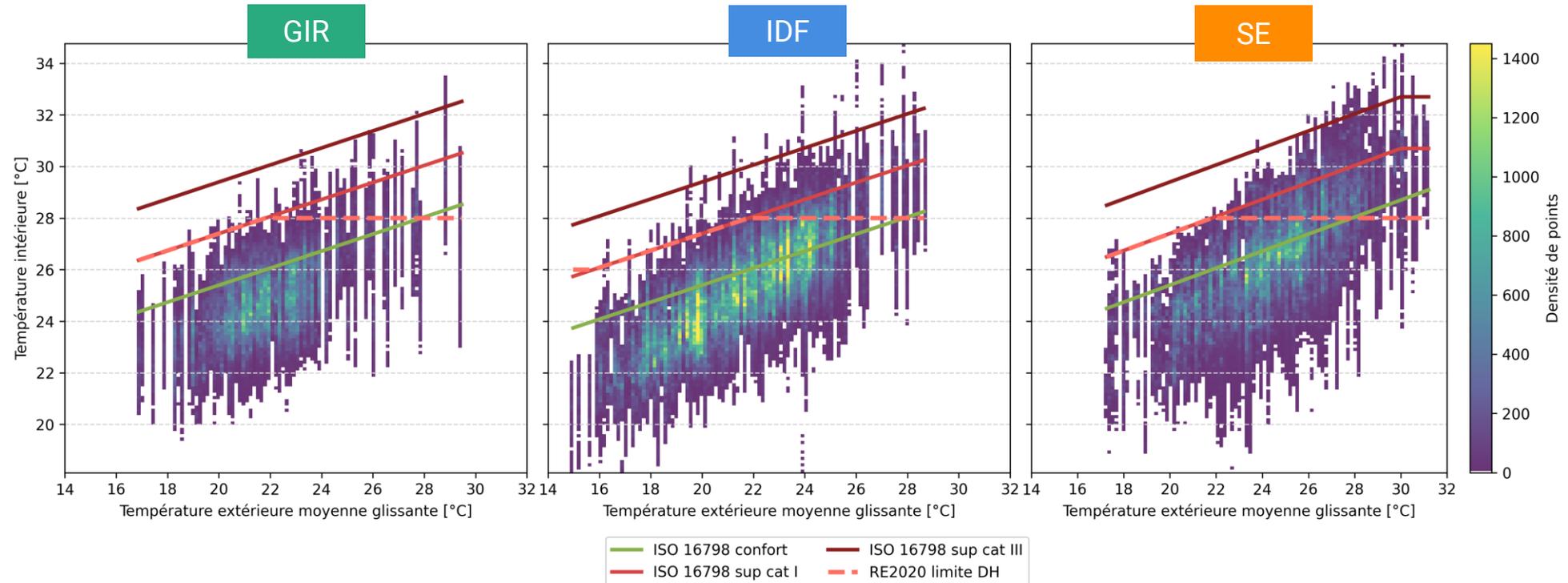
Note : Différences majeures entre le DH calculé à partir des mesures RENOPTIM et un calcul RE2020

- La météo (été 2023 utilisé dans la RE 2020 différent que l'été 2023 des mesures Renoptim)
- L'occupation des occupants
- La gestion des ouvrants et protections solaires par les occupants

➔ En ce sens, les niveaux de « DH mesuré » dans le projet Renoptim sont à considérer uniquement à titre indicatif, ils ne peuvent pas être comparés directement avec les seuils réglementaires.

1 point = 1 température à instant t dans un logement

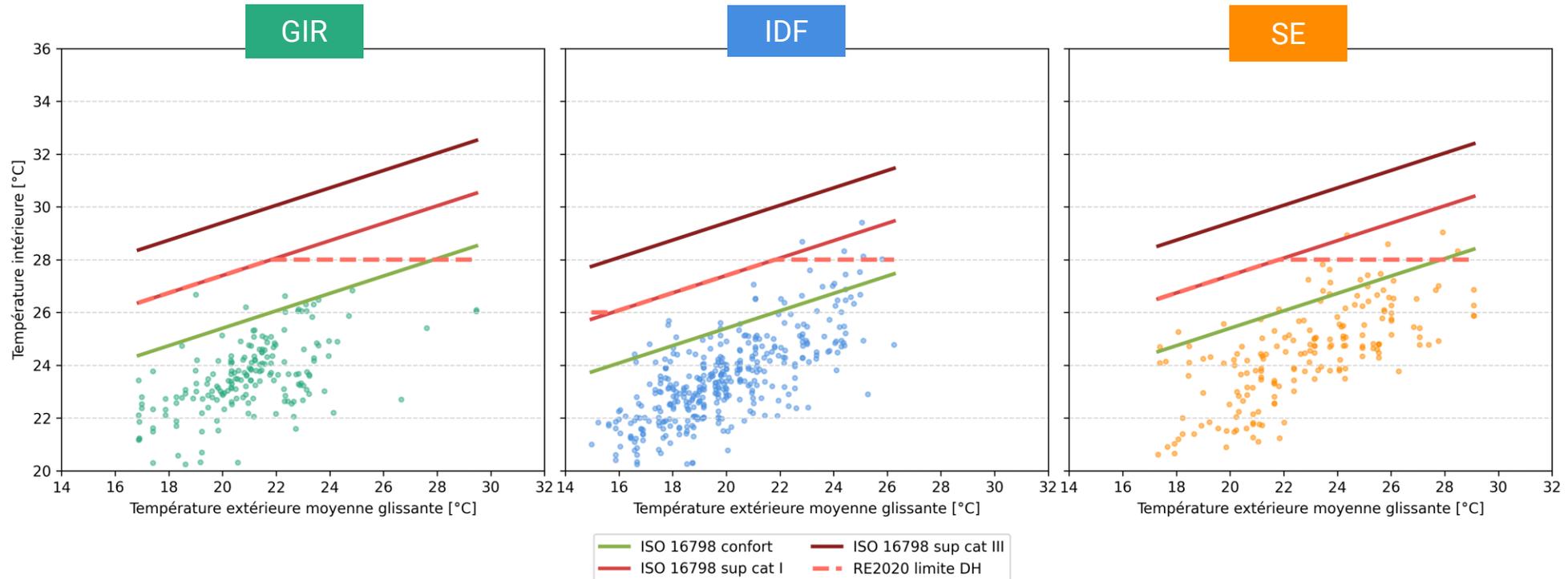
Mesures Renoptim de température vs. Limites de la norme EU de confort adaptatif et de la RE2020



- Peu de points dépassent la catégorie III (< 1%)
- La proportion de points au-dessus de la RE2020 correspond plus à la projection du ressenti que la catégorie I
- Concentration des points autour de la droite du confort

1 point = 1 température à instant t dans un logement pour une sensation thermique des occupants

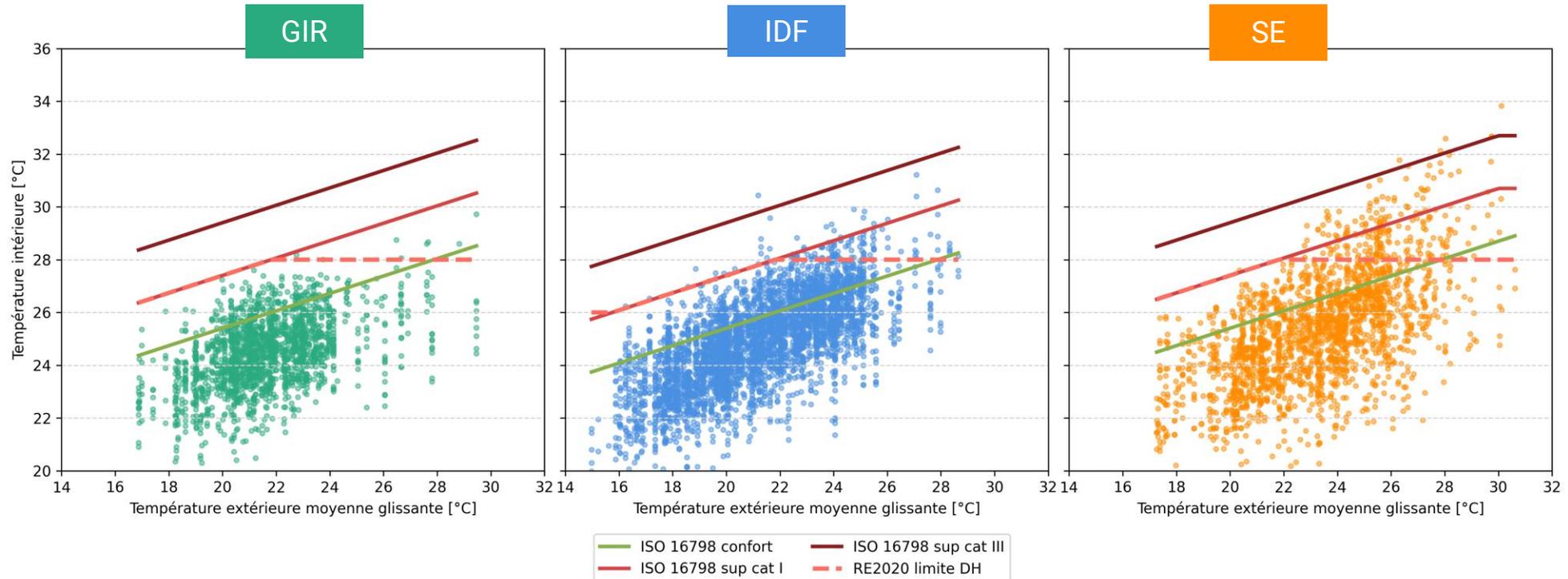
Sensation thermique = légèrement froid



- Points légèrement froids : en dessous de la limite de confort (neutre, courbe verte)

1 point = 1 température à instant t dans un logement pour une sensation thermique des occupants

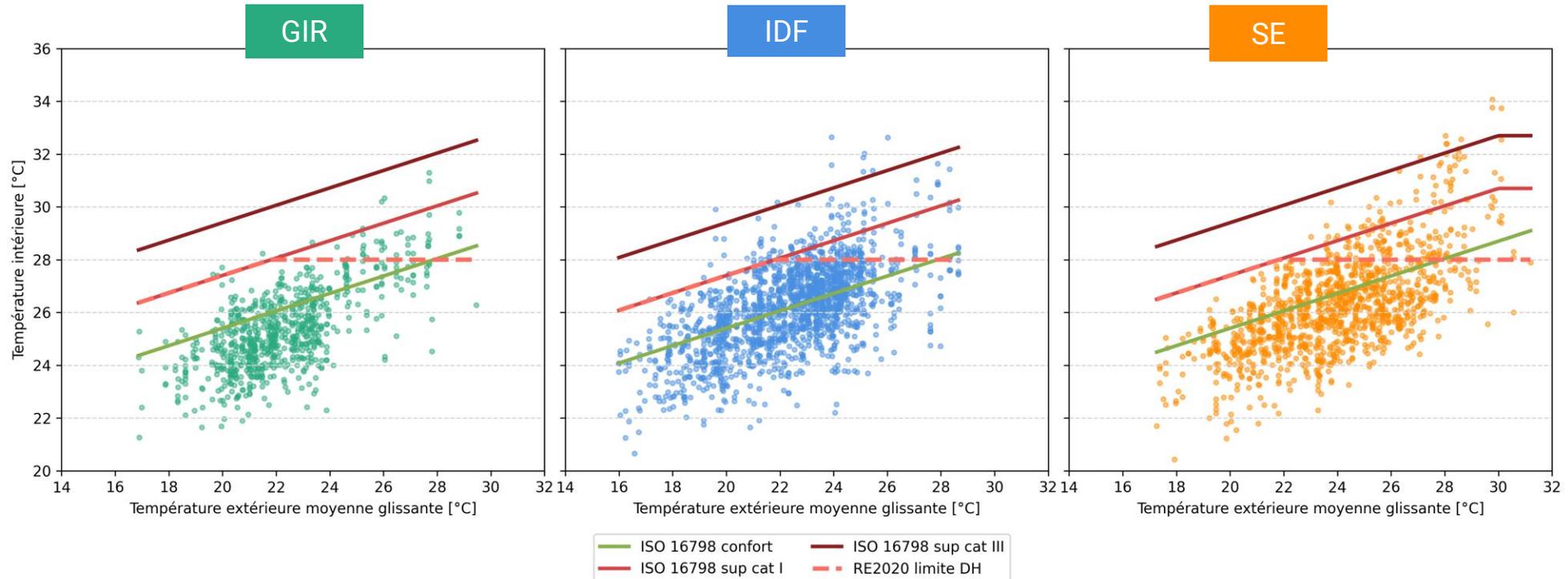
Sensation thermique = Ni chaud ni froid



- Points ni chaud, ni froids sont majoritairement en dessous des limites de confort chaud **sauf dans le SE**
- **La norme prédit plutôt bien les points neutres (courbe verte)**

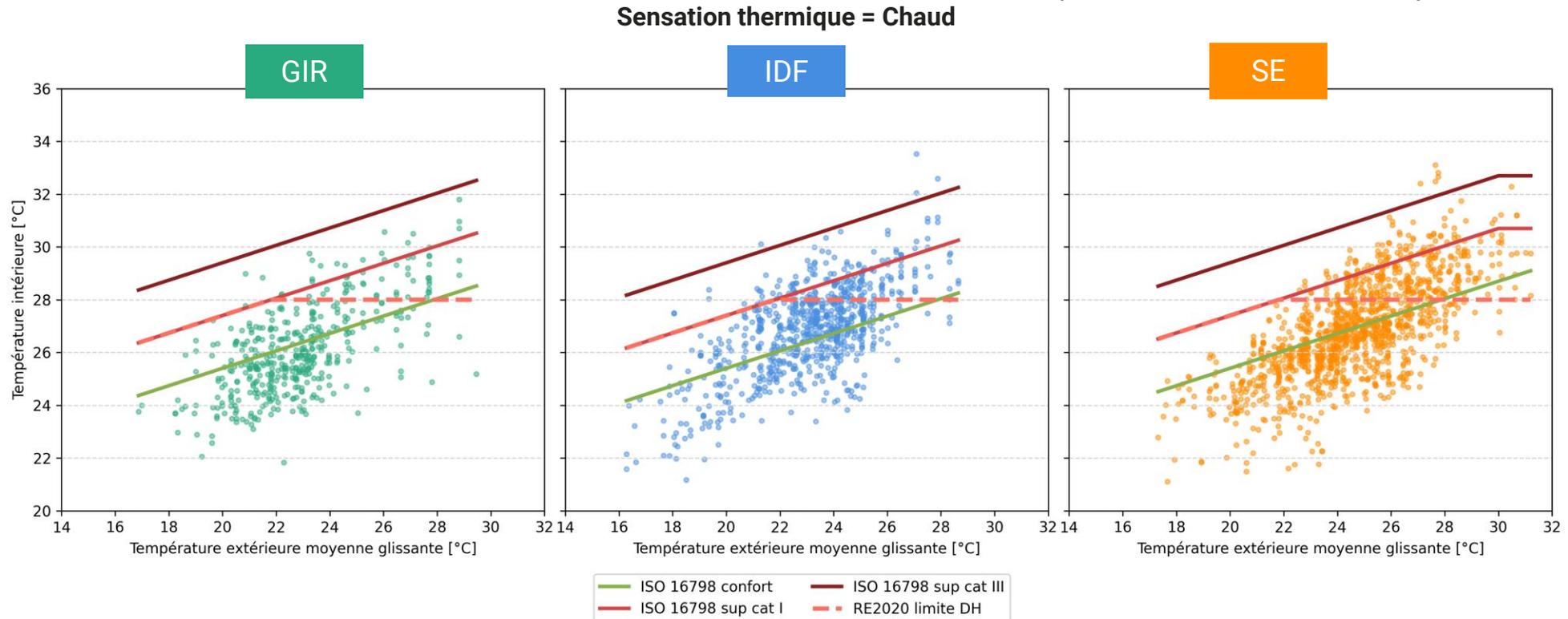
1 point = 1 température à instant t dans un logement pour une sensation thermique des occupants

Sensation thermique = légèrement chaud



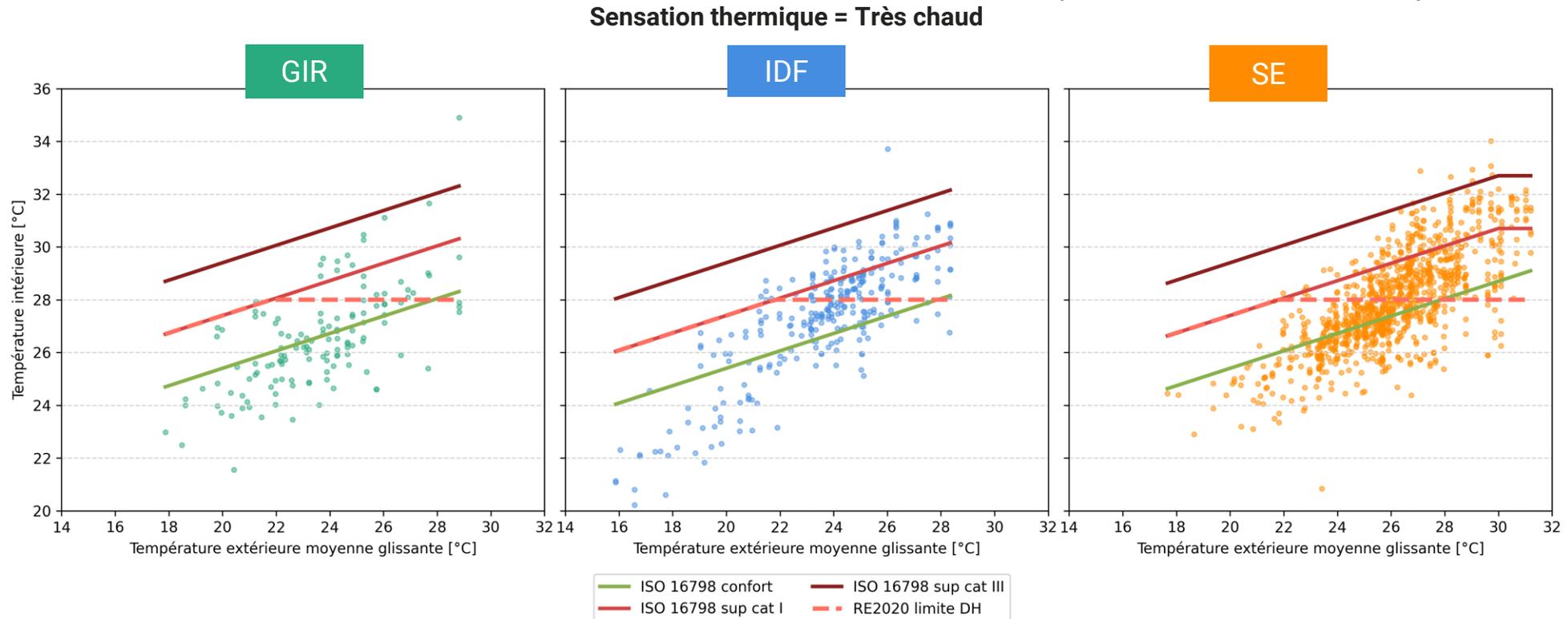
- La proportion des points légèrement chauds au-dessus des limites augmente
- ➔ Une forte proportion des ambiances jugées « légèrement chaudes » par les occupants en France métropolitaine sont considérées confortables par la norme Européenne

1 point = 1 température à instant t dans un logement pour une sensation thermique des occupants



- Ressenti « chaud » >> Points entre le confort et la limite de la catégorie I
- Beaucoup de points au-dessus de la limite DH RE2020 notamment dans le SE

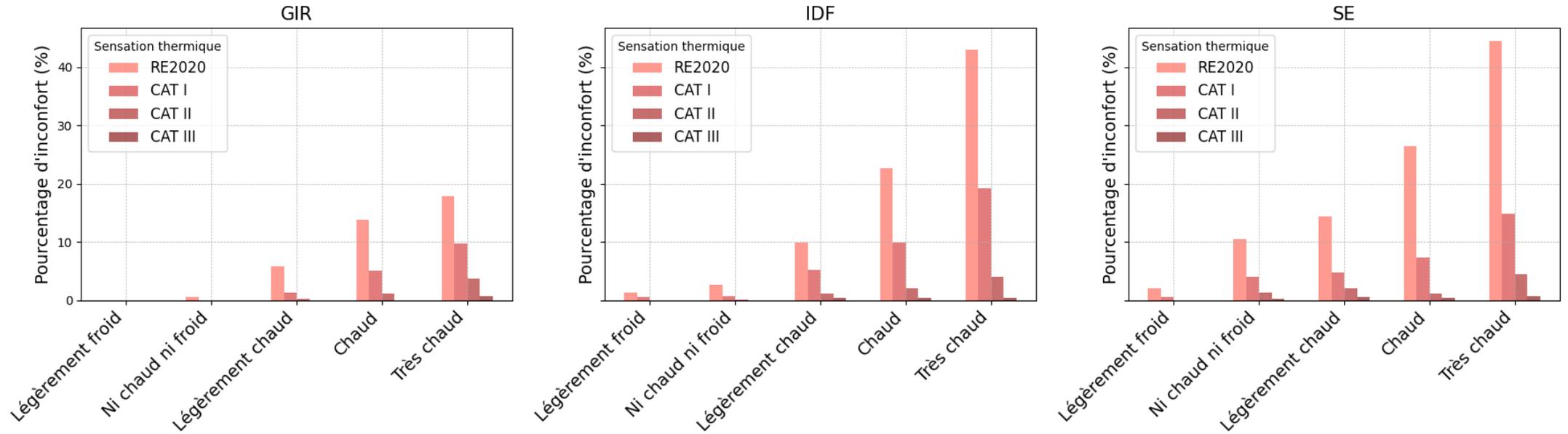
1 point = 1 température à instant t dans un logement pour une sensation thermique des occupants



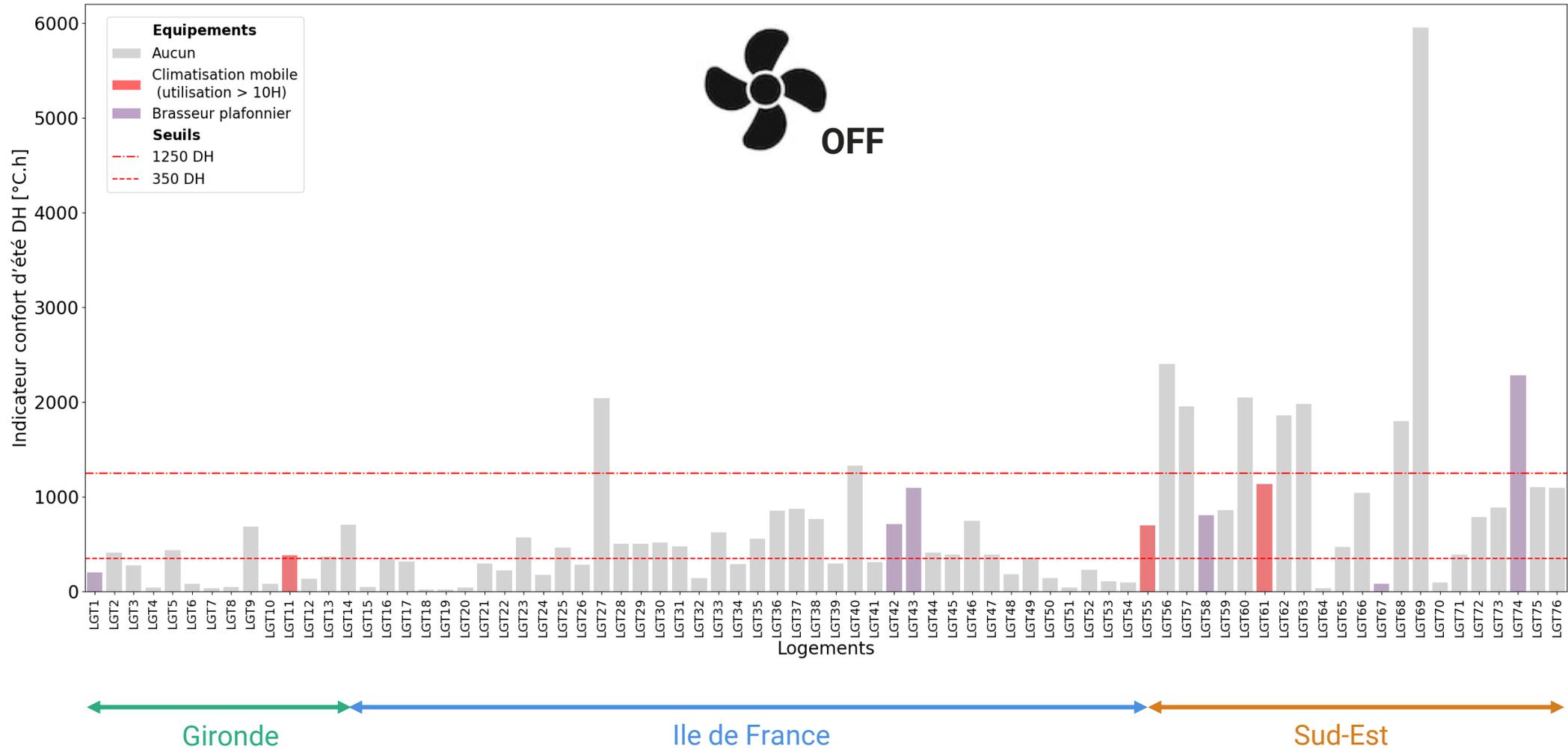
- Ressentis « très chaud » >> En GIR, majorité de points autour de la droite de confort. La norme ne prend pas non plus en compte l'humidité relative
- Très forte proportion de points au-dessus des limites de confort (principalement la limite de la RE2020)
- Très peu de points au-dessus de la catégorie III de l'EN 16798

Ce graphique est un récap des 5 précédents. Il synthétise le pourcentage de points en dehors des limites de chaque standard pour chaque réponse de sensation thermique.

Proportion des points de mesures qui dépassent les limites du confort selon le ressenti des occupants



- Seules 20% des ambiances jugées très chaudes par les occupants en Gironde sont considérées dans de l'inconfort chaud par la RE2020 (10% pour la CAT I de l'EN 16978) → Limite de ces normes à prendre en compte l'impact de l'humidité relative
- Plus de 43% des ambiances jugées très chaudes par les occupants en IDF et le SE sont considérées dans de l'inconfort chaud par la RE2020
- La proportion des points de mesures qui dépassent la limite de la RE2020 augmente assez fortement pour les catégories de sensation chaude.
- Les limites définies dans la RE2020 semblent considérer les ambiances inconfortables plus proche du ressenti des occupants en France métropolitaine que les limites définies par la norme de confort européenne EN 16798-1



A partir de la puissance de consommation du ventilateur mobile, hypothèse de la vitesse d'air :

- Pour une puissance de ventilateur comprise entre 10 et 30W : $v = 0,87$ m/s
- Pour une puissance de ventilateur comprise entre 30W et 120W : $v = 1,44$ m/s

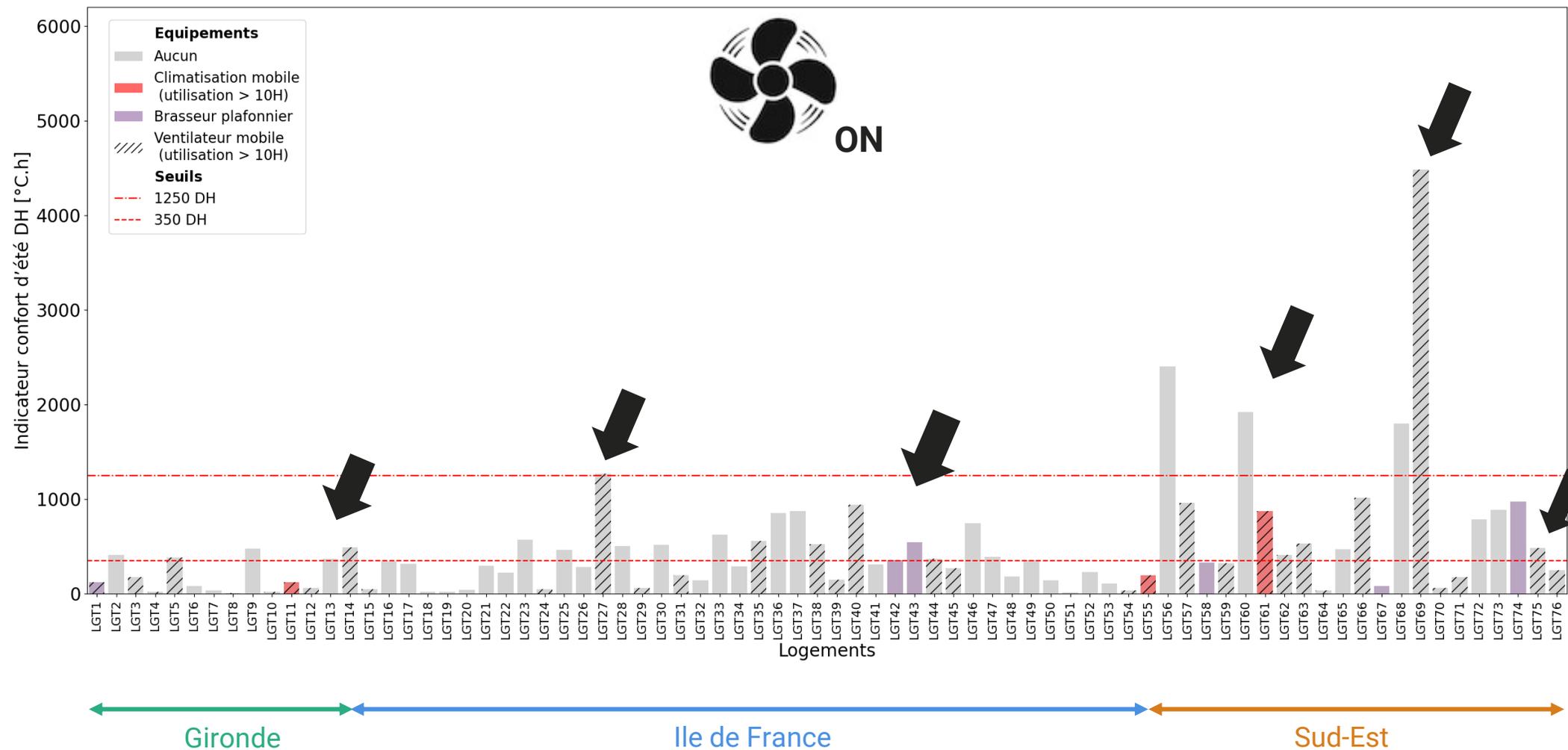
Source : S. Schiavon et A. Krikor Melikov, « Introduction of a Cooling-Fan Efficiency Index », HVAC&R Research, p. 1121-1144, 2009.

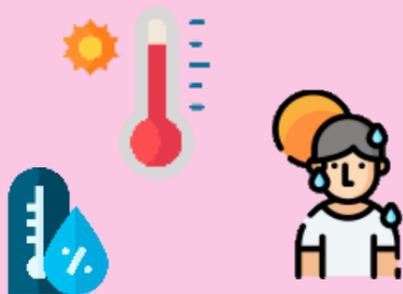
Pour les brasseurs d'air plafonniers, hypothèse : Lorsque $T > 28^{\circ}\text{C}$ et occupant présent, brasseur allumé et $v = 0,5$ m/s

La réduction du DH liée à l'augmentation de la vitesse d'air, à chaque pas de temps, est calculée similairement à dans la RE2020

Réduction DH = $1.8322 \times \ln(v) + 3.0498$

- Brasseur plafonnier : $v = 0,5$ m/s, réduction DH = - 1.8 °C à chaque heure d'utilisation
- Ventilateur mobile : $v = 0,87$ m/s, réduction DH = - 2.8°C à chaque heure d'utilisation
- Ventilateur mobile : $v = 1,44$ m/s, réduction DH = - 3.7°C à chaque heure d'utilisation





Etat des lieux du
confort d'été
ressenti, mesuré, et
calculé

- Un **taux de participation important** qui a permis d'obtenir un nombre élevé de réponses pour des **analyses robustes et fiables**
- **45% de réponses qualifiant la sensation thermique de « chaude »** avec d'avantage de réponses « très chaud » dans le Sud-Est
- Un **seuil moyen de confort établi à 25°C**, début de l'inconfort à 26°C et fort inconfort à partir de 28°C
- Des **seuils moyens de ressenti à la chaleur**
 - **Ont une forte dispersion d'un occupant à l'autre**
 - **Qui augmentent en période de canicule** : adaptation et résilience des occupants
 - **Qui changent entre le début et la fin de la période estivale** : acclimatation
- L'été 2023 très chaud surtout dans le Sud Est de la France
→ 10/76 logements avec des DH > 1250 °C.h dont 8 au SE
- Plus de 75% des logements toutes régions confondues sont équipés de ventilateurs mobiles avec la moitié des occupants qui les utilisent notamment durant la canicule



Etat des lieux du
confort d'été
ressenti, mesuré, et
calculé



Facteurs
explicatifs des
surchauffes



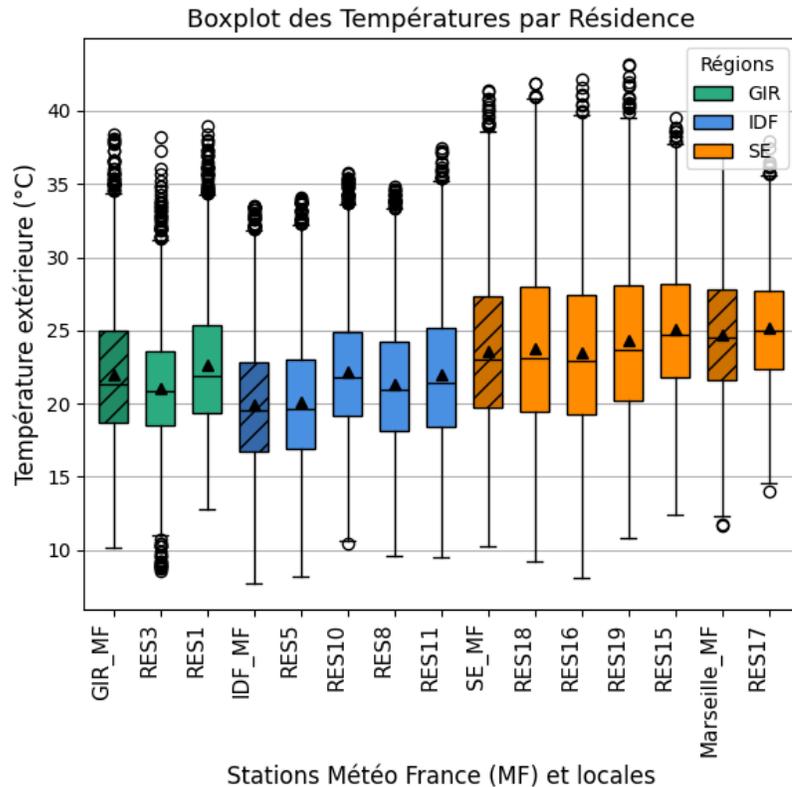
Interactions des
occupants avec le
bâti



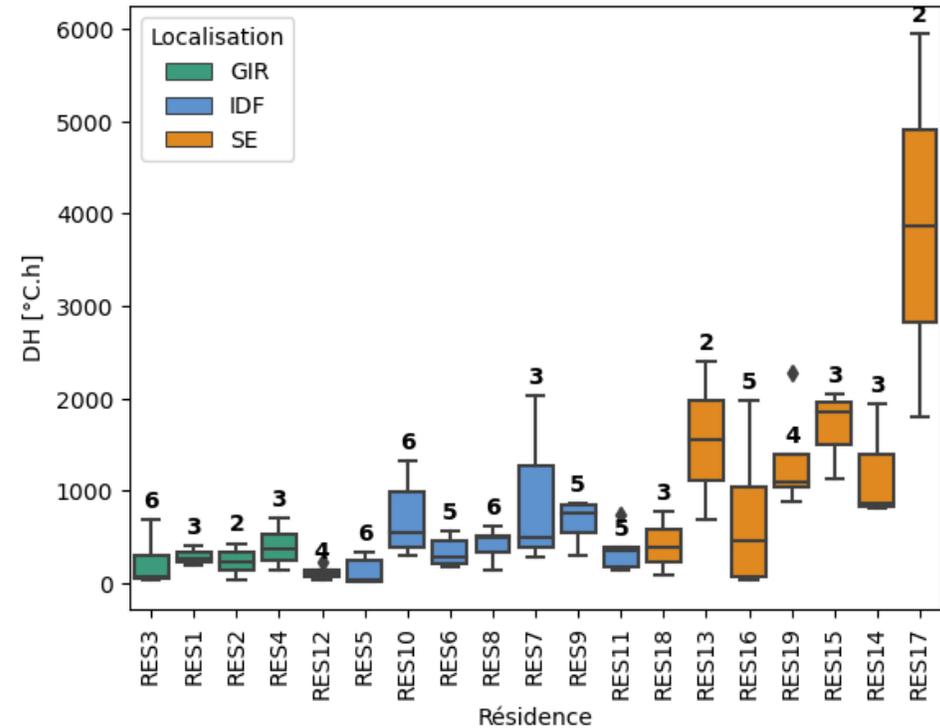
Facteurs explicatifs des surchauffes

Impact du microclimat et de l'enveloppe

- **Climat local**
- Enveloppe : **Isolation** et **Inertie** : mur / fenêtre / plafond dernier étage / plancher rez de chaussée
- **Etage du logement**
- **Traversance**
- **Présence de protections solaires extérieures**
- **Les occupants**

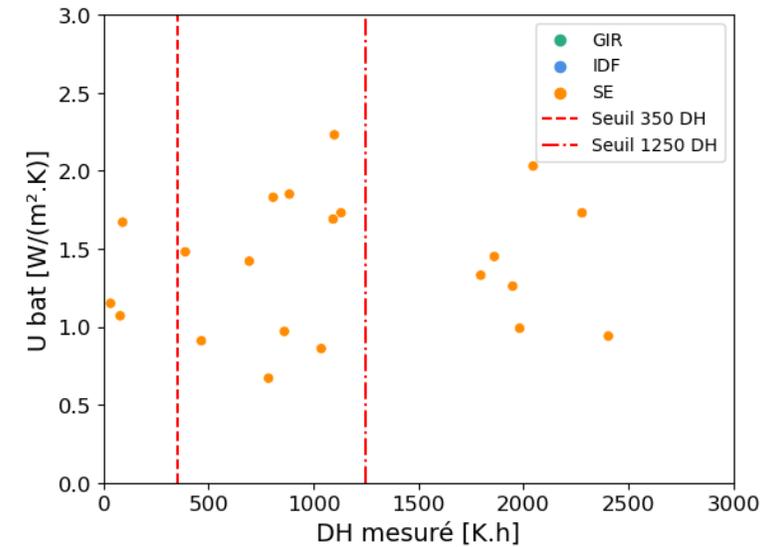
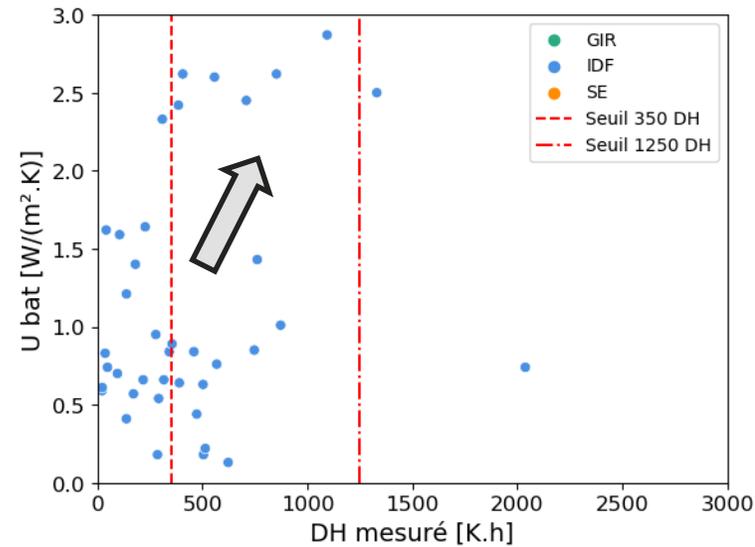
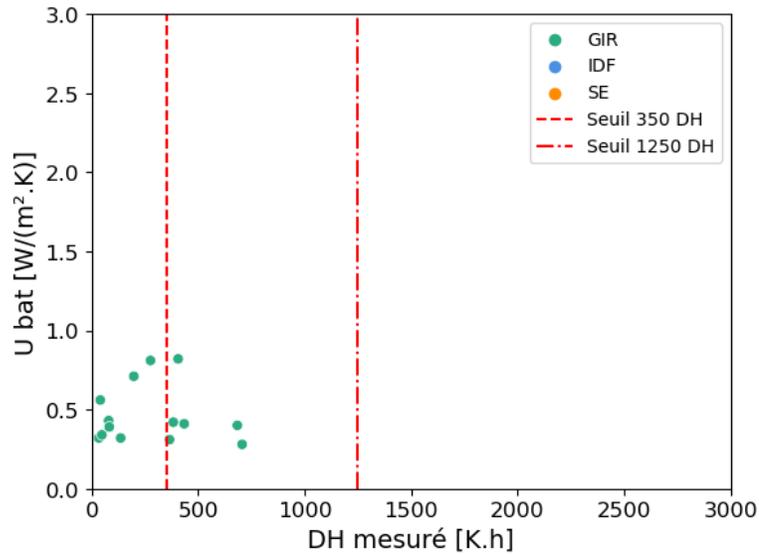


Variabilité de l'indicateur DH au sein du même résidence = même climat local



➔ Forte influence du climat local sur la surchauffe du bâtiment

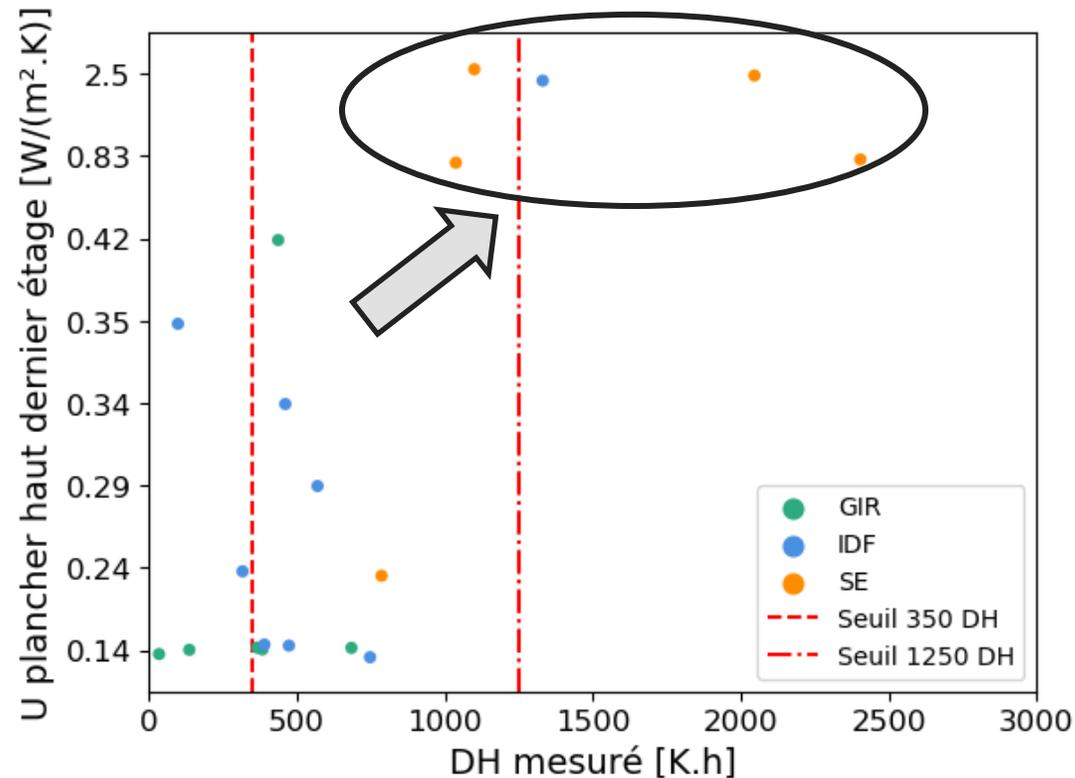
1 point = 1 Logement



- **Ubat a une influence sur le DH_mesuré notamment en IDF**
- En GIR et SE pas suffisamment de diversité de Ubat pour conclure

1 point = 1 Logement

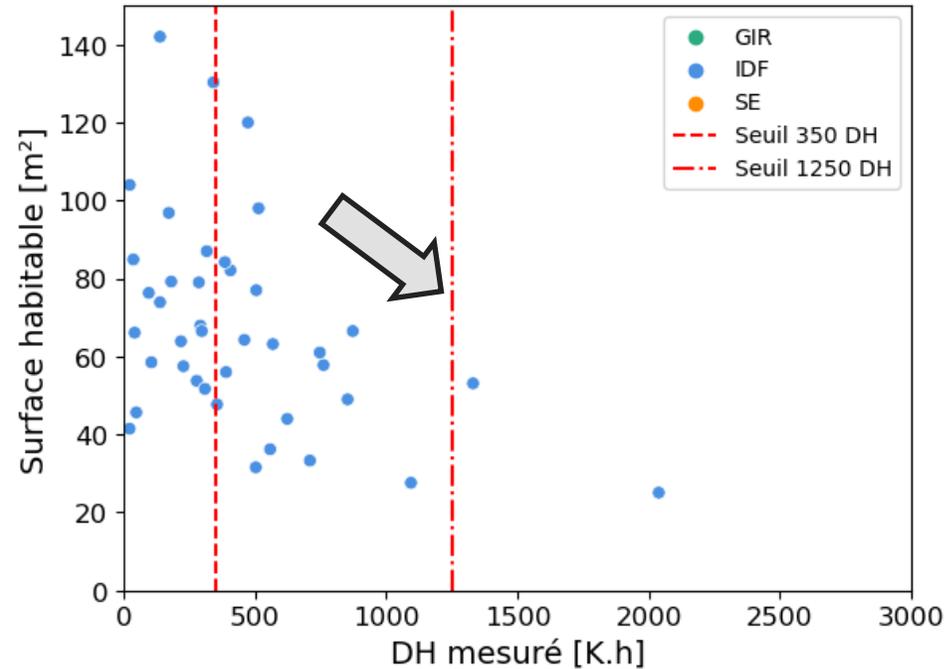
Uniquement les logements en dernier étage



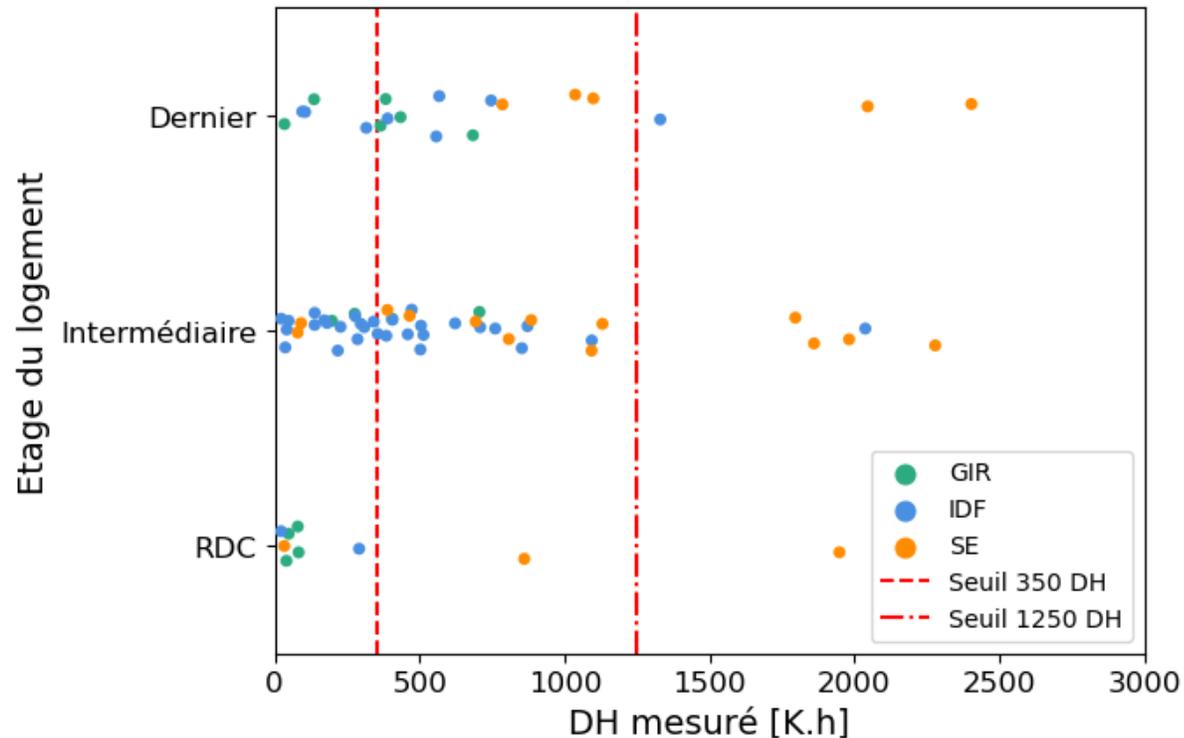
Le U de la toiture a une influence sur le DH mesuré

→ Les derniers étages non isolés surchauffent beaucoup plus que les derniers étages isolés

1 point = 1 Logement

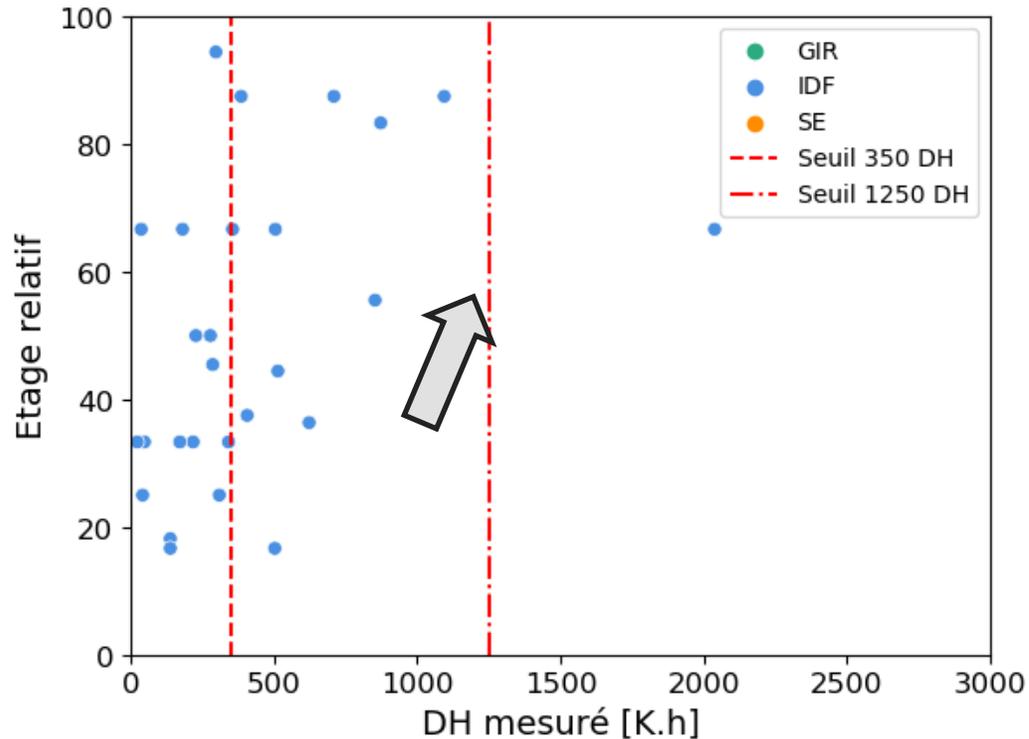


1 point = 1 Logement



- Les logements en RDC sont plus frais
- Logements en dernier étage bien isolés n'ont pas un DH élevé

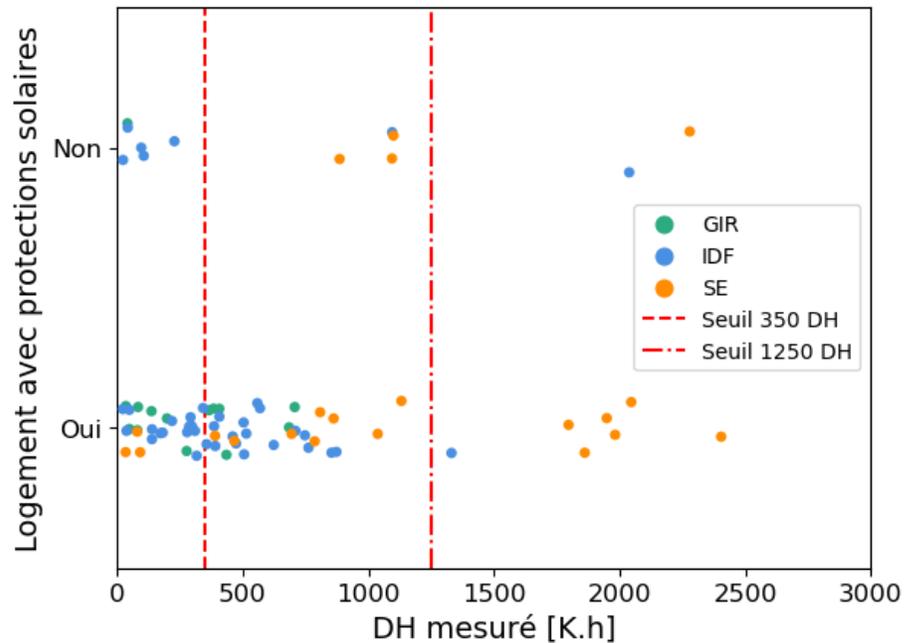
1 point = 1 Logement



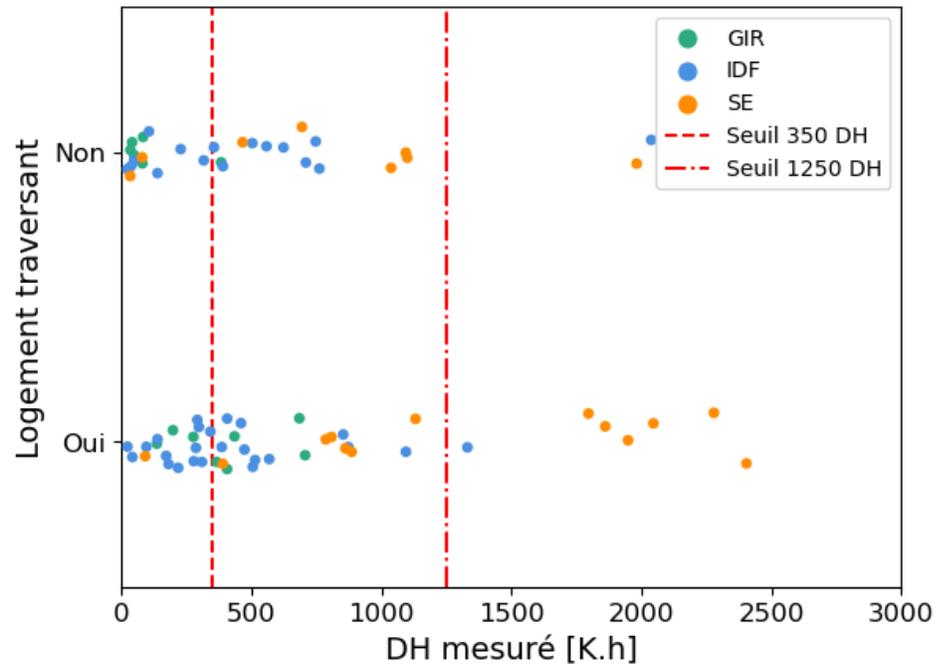
Zoom sur les logements intermédiaires

- ➔ Les logements en étage plus élevés sont soumis à davantage d'apports solaires
- ➔ Nécessaire de les équiper avec des protections solaires et qu'elles soient utilisées

Protections solaires extérieures mobiles



Aspect traversant



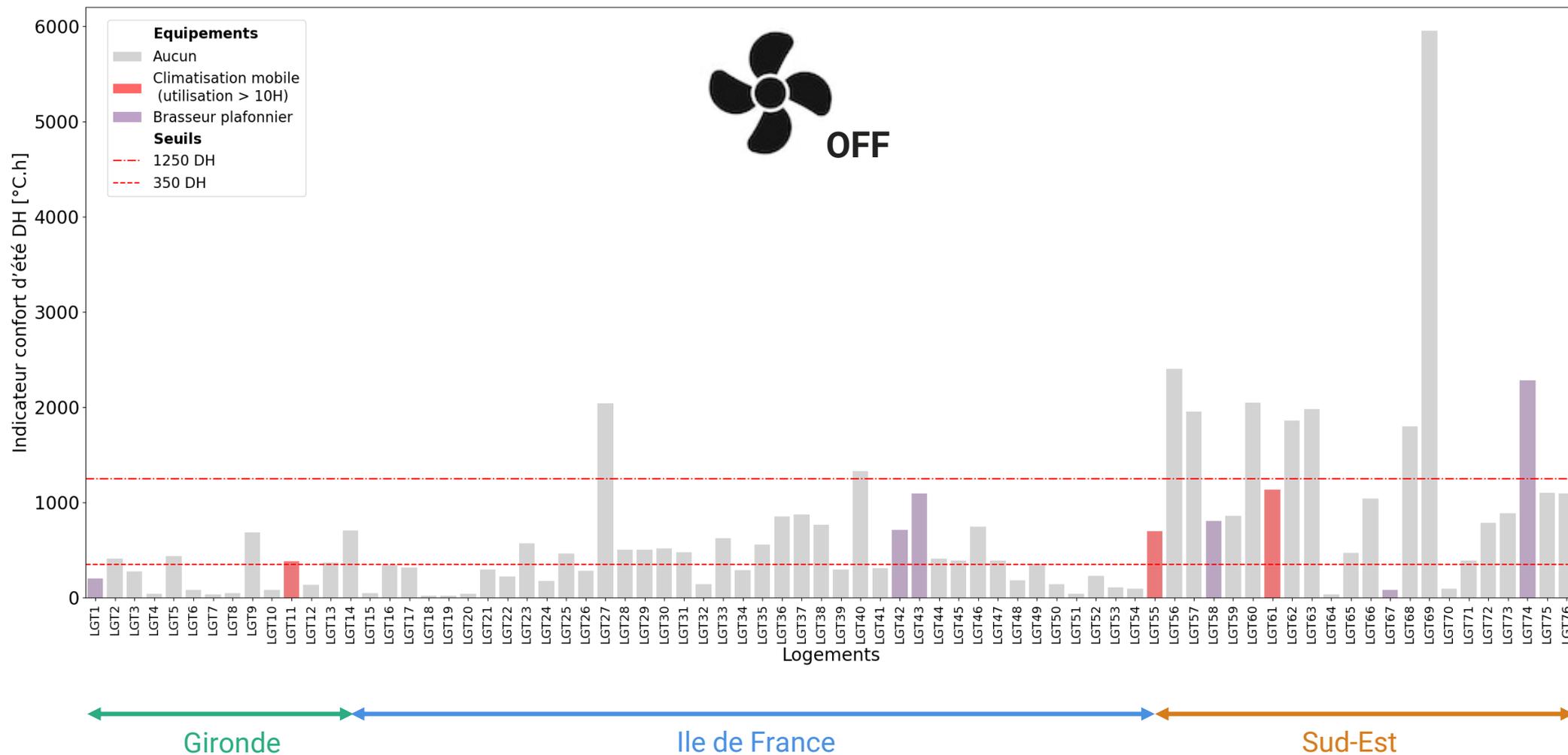
➔ Pas de corrélation directe sur l'influence des protections et de l'aspect traversant

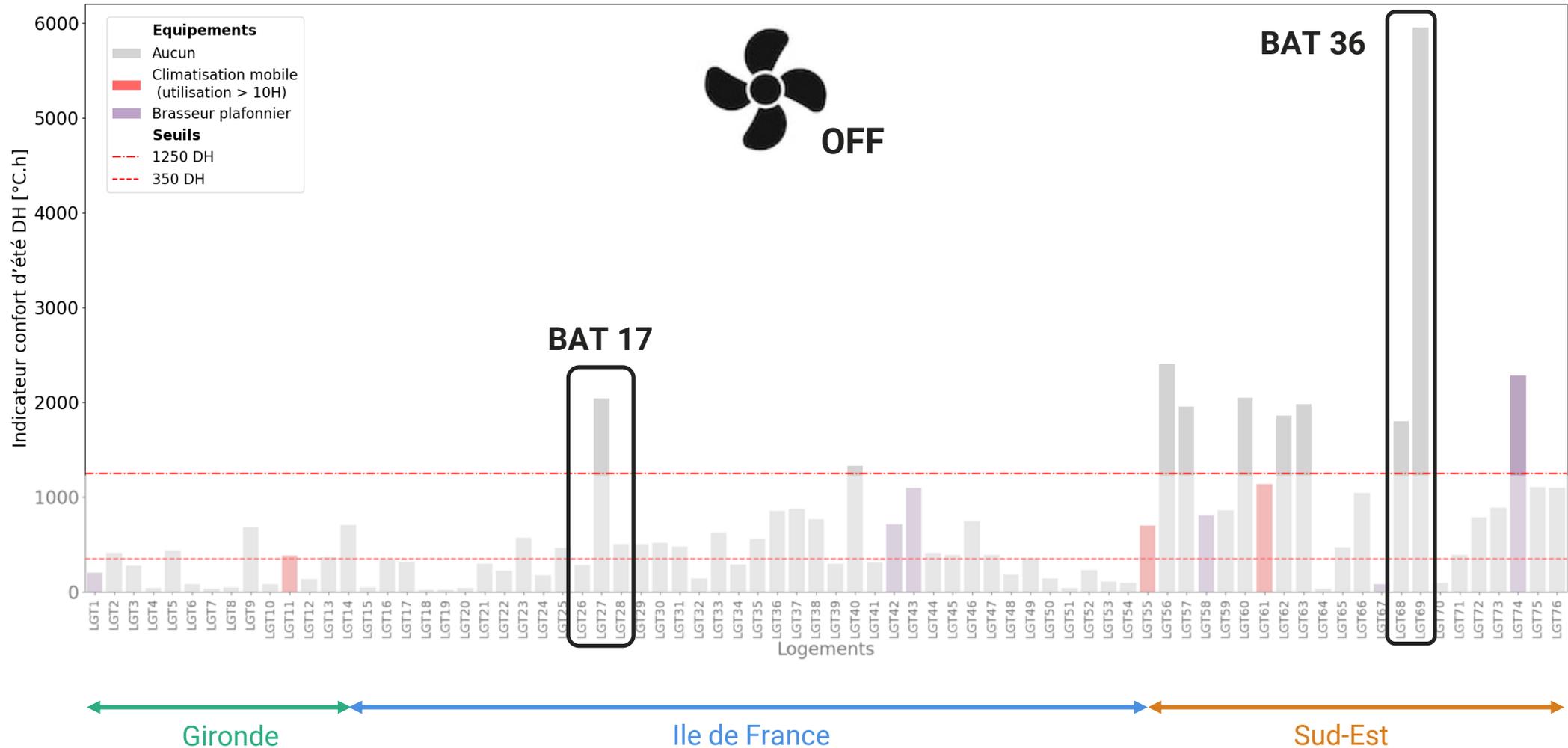
➔ Nécessaire d'investiguer la gestion des ouvrants et protections par les occupants



Facteurs explicatifs des surchauffes

Analyse par résidence







Bâtiment 17

- Environnement urbain du 20^{ème} arrondissement
- Logements sociaux
- 6 étages
- Forte inertie
- **Non isolé** ($U_{mur} \approx 2,3 W/(m^2.K)$)

IDF



L'été, les
logements sont
ombragés par les
feuilles des arbres

Caractéristiques
Comportements des occupants

	LGT26	LGT27	LGT28
Taille	T3	Studio	Studio
Traversant	✓	✗	✗
Etage	3/6	4/6	1/6
Présence de volet	✓	✗ Rideaux intérieurs	✓
avec les fenêtres	Fenêtres ouvertes en continu	Fenêtres ouvertes en continu	Fenêtres ouvertes en continu
avec les volets	Journée  Nuit  Parfois fermés/ parfois ouvertes Partiellement ouvert	Non applicable	Fermé Ouvert
avec un ventilateur		 Soirée et nuit	
Confort durant la vague de chaleur	Légerement inconfortable	Inconfortable	Inconfortable
Surchauffe	 ~300 DH	 ~2000 DH	 ~500 DH

LGT 26

- Bon confort d'été
- Hypothèse : **Plus grande capacité de ventilation par son caractère traversant.**

LGT 27 et 28

- **Seule différence majeure** est que le LGT 27 n'a pas de protections solaires extérieures.
- **Il est nécessaire d'installer des protections solaires extérieures pour lutter contre la surchauffe**
- Le logement 27 limite son inconfort (~ DH à 1250) avec l'utilisation du ventilateur mobile



SE



Bâtiment 36

- Environnement urbain dans Marseille
- Logements privés
- 6 étages
- Construit en 1960
- Forte inertie
- **Non isolé** ($U_{mur} \approx 2,4 W / (m^2 \cdot K)$)
- Orientation Est-Ouest, traversants
- Avec protections solaires extérieures

Caractéristiques

	LGT68	LGT69
Taille	T3	T3
Traversant	✓	✓
Etage	1/6	5/6
Présence de volet	✓	✓
avec les fenêtres	Fenêtres ouvertes en continu	Fenêtres fermées le jour ouvertes la nuit
avec les volets	Journée  Nuit  Parfois fermés/ parfois ouvertes ouverts	fermés fermés
avec un ventilateur		 Soirée et nuit
Confort durant la vague de chaleur	Légèrement inconfortable	Très inconfortable
Surchauffe	 ~2000 DH	 ~6000 DH

LGT 68 et 69

- Les deux logements ont recours au **rafraichissement nocturne** avec leurs fenêtres ouvertes la nuit
- Protections solaires extérieures fermées la journée

LGT 69

- Plus exposé au soleil du fait de son étage plus élevé
- **Possède une loggia orientée Ouest sans protections solaires**
- **Garde ses volets fermés la nuit ce qui limite le rafraichissement dans les chambres**



GIR



Bâtiment 4

- Environnement urbain Bordeaux
- Logements sociaux
- 2 étages
- Logements récents 2013 - 2021
- Forte inertie sauf en toiture
- **Isolé** ($U_{mur} \approx 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
- Avec protections solaires extérieures

Caractéristiques

	LGT8	LGT9	LGT10
Taille	T3	T3	T2
Traversant	✘	✔	✘
Etage	0/2	2/2	0/2
Orientation	Est	Sud-Est	Nord
Présence de volet	✔	✔	✔
avec les fenêtres	Fenêtres fermées le jour ouvertes la nuit	Fenêtres ouvertes en continu	Fenêtres fermées le jour ouvertes la nuit
avec les volets	Journée  Parfois fermés/ parfois ouvertes Partiellement ouvert	Fermés Partiellement ouvert	Partiellement ouvert Partiellement ouvert
avec un ventilateur	 Toute la journée	 Journée	 Nuit et matin
Confort durant la vague de chaleur	Très inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
Surchauffe	 ~50 DH	 ~700 DH	 ~100 DH

LGT 8, 9 et 10

- Logements récents 2013 - 2021 avec une bonne isolation et des protections solaires

LGT 8 et 10

- Bon confort d'été
- **Logements au RDC** avec une orientation favorable pour le confort d'été

LGT 9

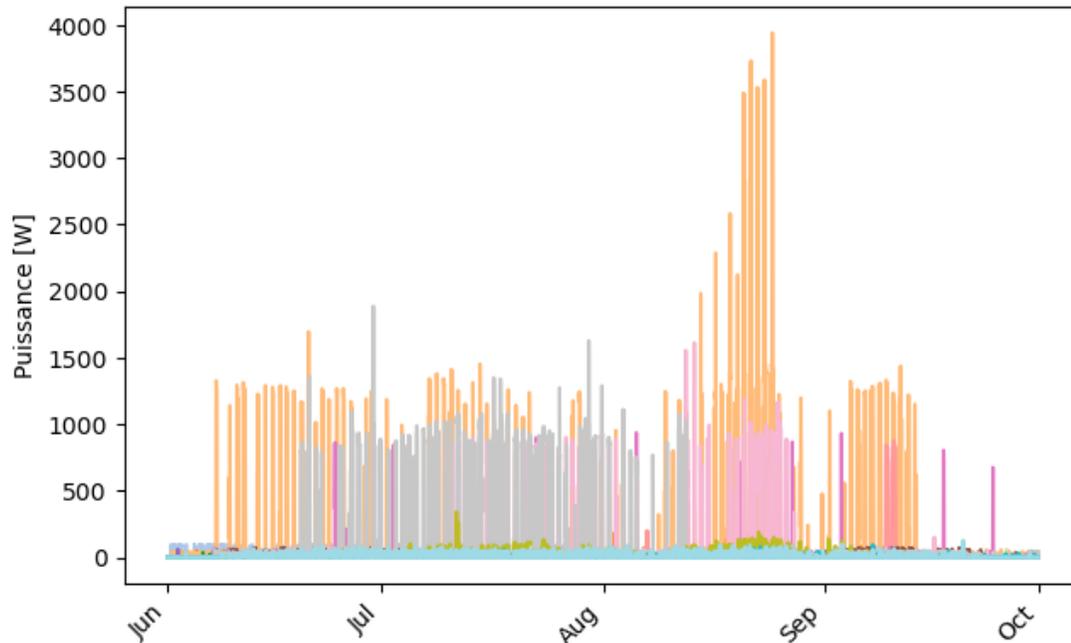
- Logement au **dernier étage** (sans inertie) avec une **orientation Sud** défavorable pour le confort d'été
- Fenêtres **ouvertes en journée** qui peuvent contribuer à la surchauffe.
- **Utilisation d'un ventilateur pour palier à l'inconfort**



Facteurs explicatifs des surchauffes

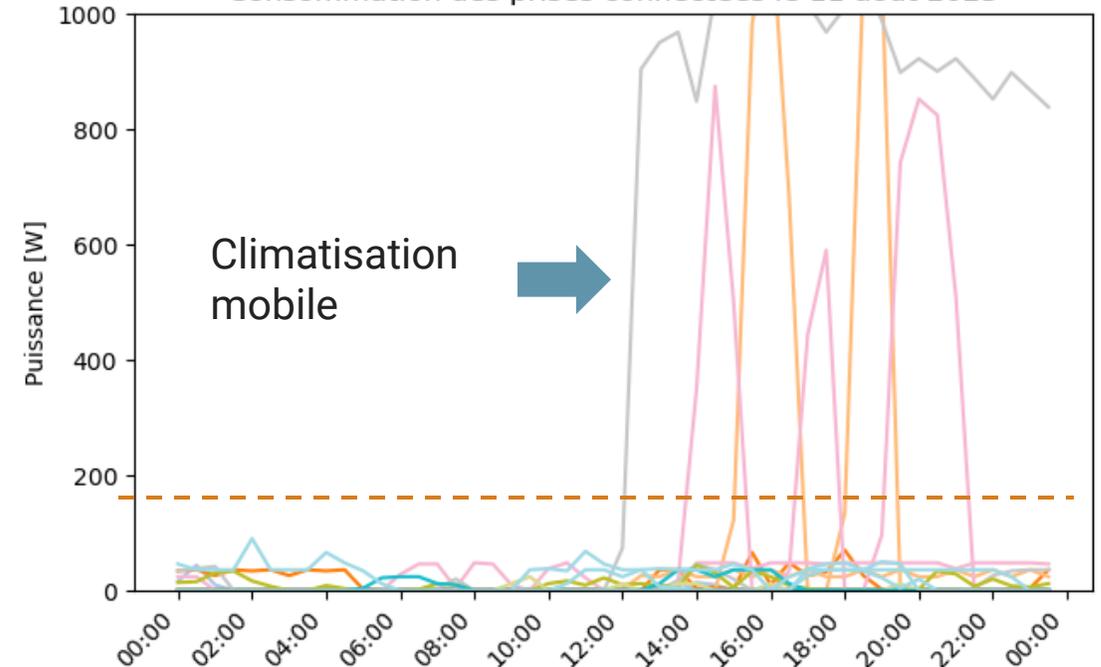
Utilisation des équipements de confort

Consommation estivale des prises connectées

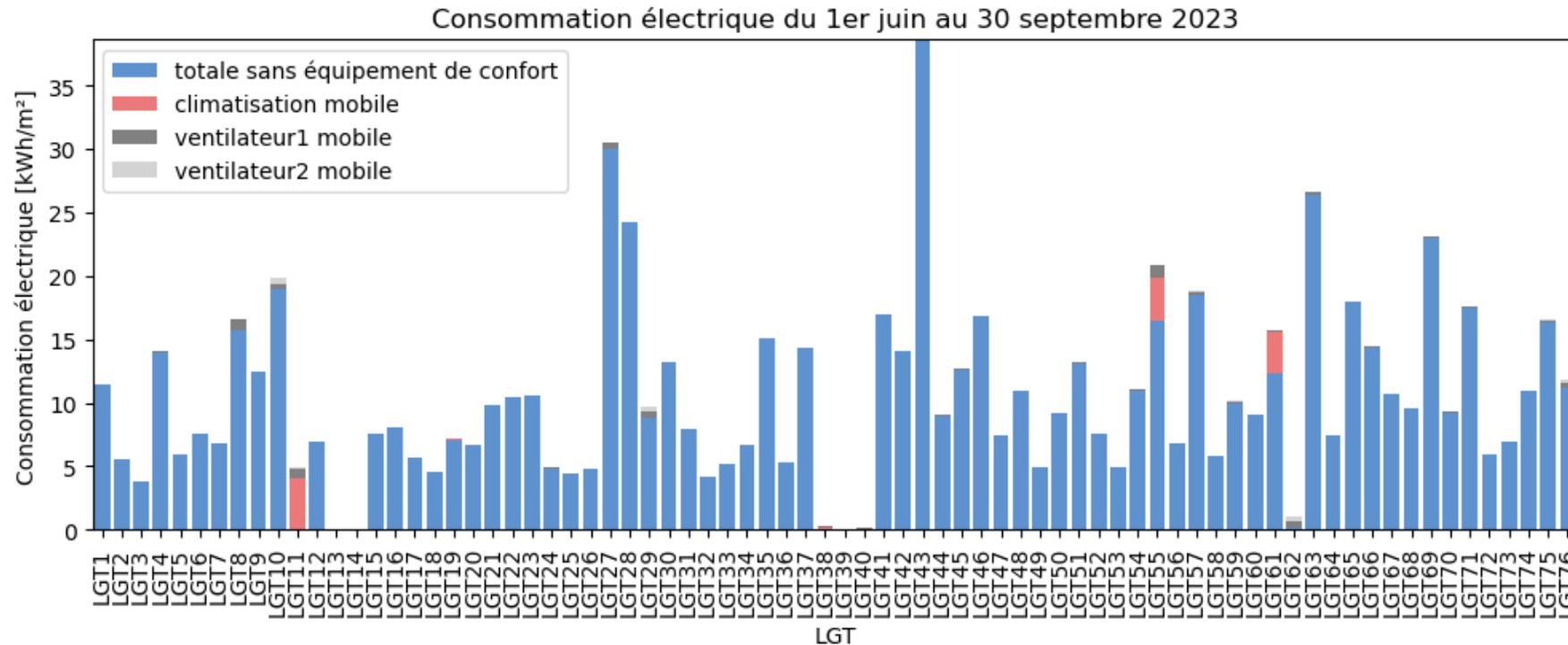


- Chaque logement possède 1 à 2 prises connectées pour mesurer l'usage des équipements de confort.
- Pour définir si une prise connectée mesure de la clim ou un ventilateur on regarde la puissance moyenne à 30 min.

Consommation des prises connectées le 11 août 2023

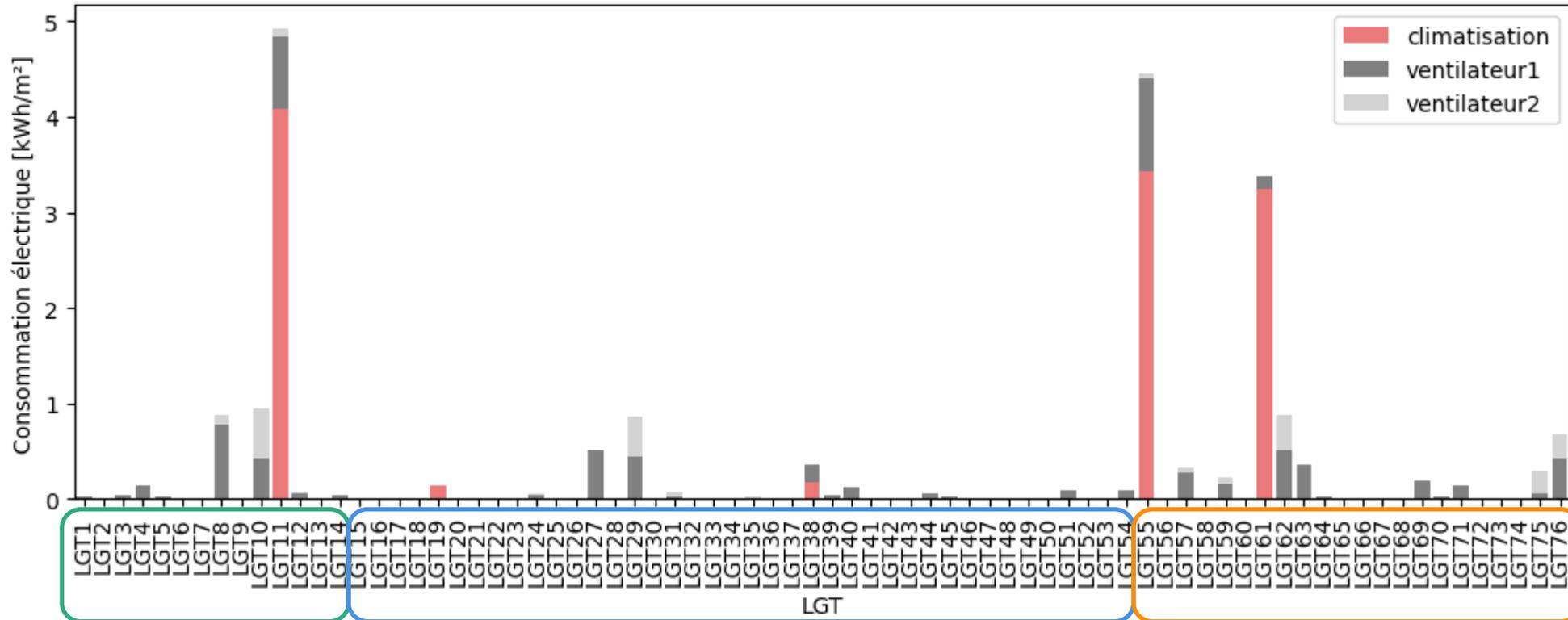


- Au-dessus de 200 W on considère que c'est de la climatisation.
- Si c'est entre 10 et 200 W c'est un ventilateur

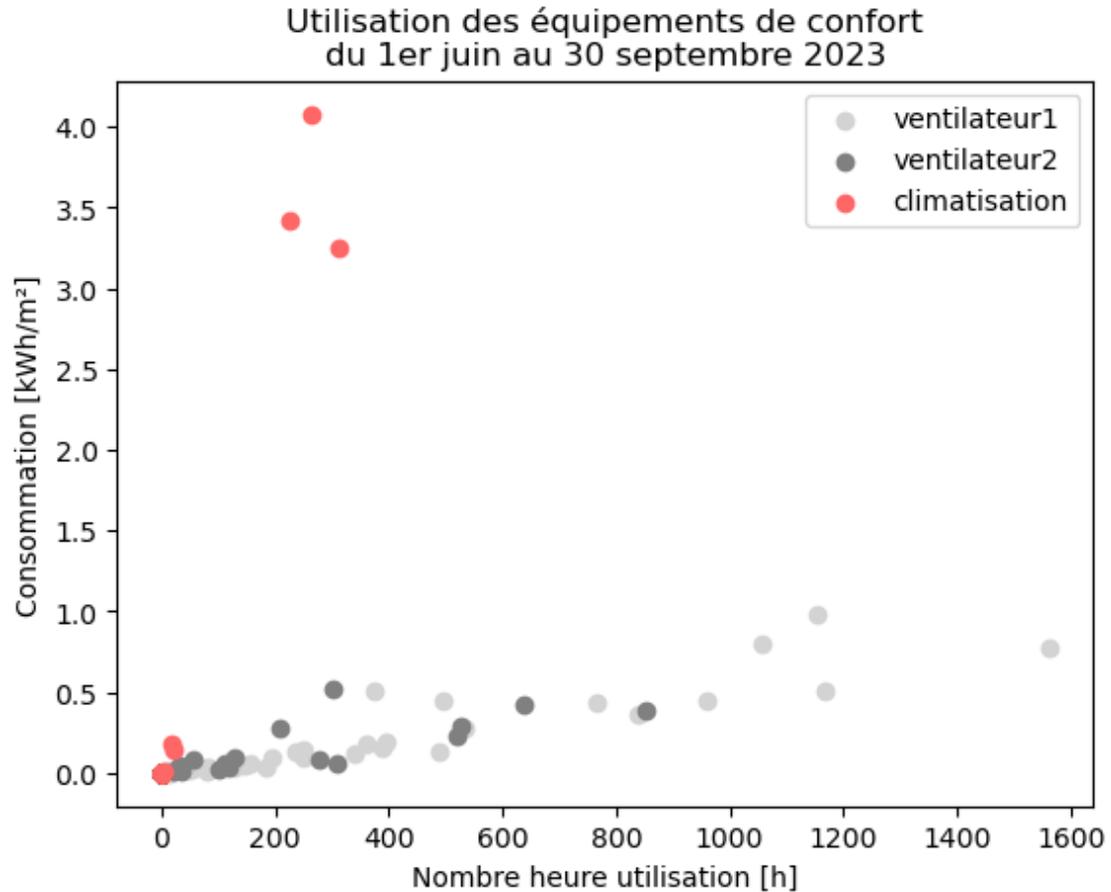


- La **clim mobile** représente **15-20 %** par rapport à la **consommation énergétique globale** (LGT55 et LGT61)
- La **consommation des ventilateurs mobiles** est **anecdotique** par rapport à la consommation globale
- Les logements 11, 13, 14, 38, 39, 40, 62 n'ont pas de mesure de consommation électrique totale
- Les différentes de consommation peuvent s'expliquer notamment par un chauffe-eau électrique ou non

Consommation des équipements de confort du 1er juin au 30 septembre 2023



- Consommation des **climatisations mobile bien supérieure à celle des ventilateurs mobiles**
- 3 logements ont une **consommation de climatisation élevée ~ 3-4 kWh/m² pour rafraichir une pièce**
- En GIR et SE ~ 60% et en IDF ~30% des logements utilisent les ventilateurs mobiles



Chaque point représente la consommation d'une prise connectée pendant l'été

Les ventilateurs mobiles sont beaucoup plus utilisés que la climatisation mobile pour une consommation beaucoup plus faible

Consommation électrique du ventilateur mobile

< 1kWh/m² pour plus de 1000 heures d'utilisation
soit ~ **1 Wh/m² par heure d'utilisation**

Consommation électrique de la clim mobile

~3/4 kWh/m² pour ~ 300 heures d'utilisation
soit ~ **10 Wh/m² par heure d'utilisation**

Ventilateur mobile

Consommation électrique

~ 1 Wh/m² par heure d'utilisation

Gain de confort thermique

A faible puissance

Réduction en température ressentie de
~ 2.8 °C (*calculé*)

A forte puissance

Réduction en température ressentie de
~ 3.7°C (*calculé*)



Climatiseur mobile

Consommation électrique

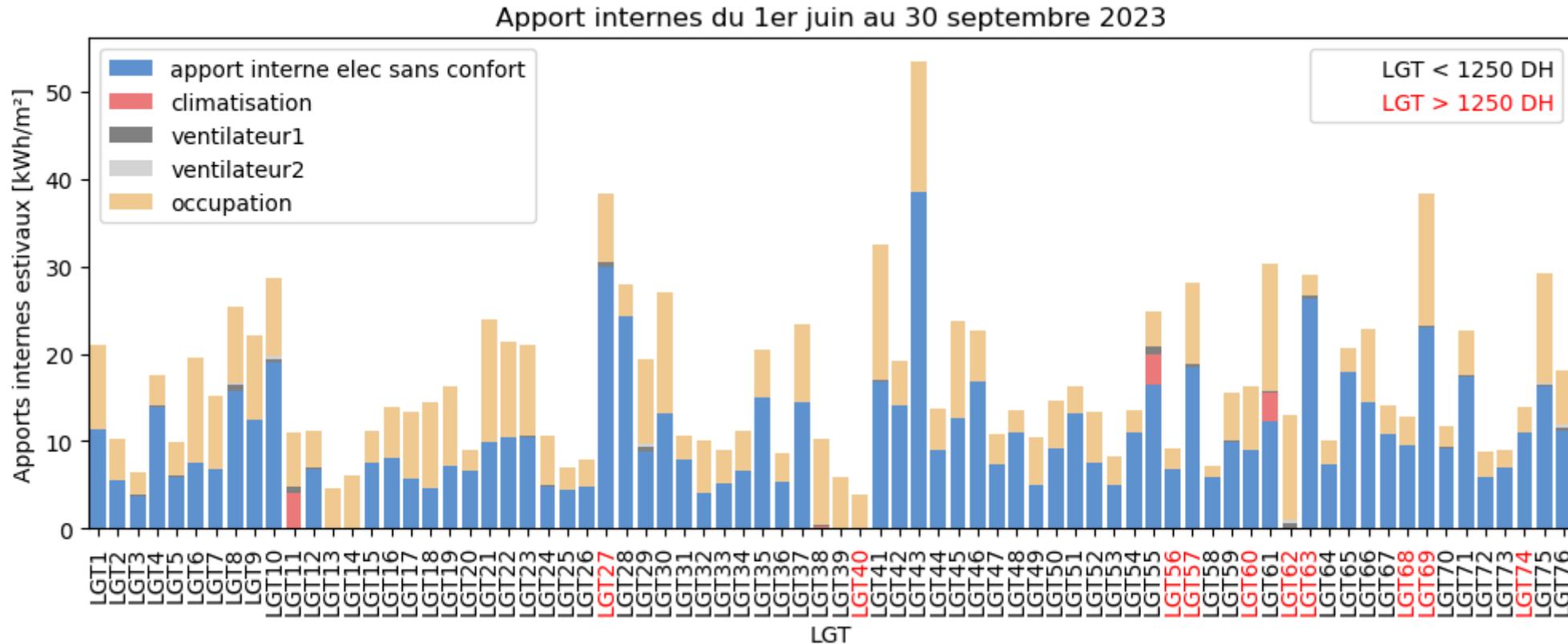
~ 10 Wh/m² par heure d'utilisation

Gain de confort thermique

Réduction de ~ 2°C (*mesuré*)

+ Impact supplémentaire en ressenti de
l'air soufflé froid (*non mesuré ni calculé*)





- Occupation estimée à 1680 Wh par occupant et par jour (70W) lorsque détection de présence (action box/fenêtre)
- Parmi les apports internes l'occupation n'est pas négligeable
- Pas de corrélation significative entre les apports internes et le DH (Pearson p-value 0,07)

Valorisation des travaux via la rédaction d'un article de conférence :



Machard Anaïs, Coulandreau Hugo, Campagna Kevin, Toesca Adrien, Haese Gwénaëlle (2025)

Summer overheating and thermal discomfort in French households: Findings from an experimental campaign

Conférence CLIMA 2025, Milan, 4-6 juin 2025



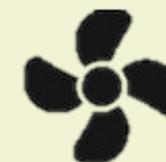
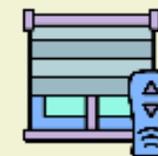
- Surchauffe plus importante observée en zone urbaine et Sud-Est
→ **Fort impact du climat local** sur les surchauffes dans les logements
- Les logements en **dernier étage non isolé**, les **studios non traversants**, les logements en **étage relatif élevé sans PM** sont plus à **risque de surchauffe**
- Les logements **isolés**, les logements en **RDC sont plus frais**
- Le caractère traversant et la présence de protections solaires ne suffit pas
→ La gestion de **l'ouverture des baies** et des **protections** par les occupants a un **fort impact** sur la surchauffe
- Beaucoup d'occupants gardent leurs **fenêtres ouvertes la journée** ce qui peut **augmenter la surchauffe**
- Certains occupants gardent leur **volets fermés la nuit** avec les fenêtres ouvertes ce qui **limite le rafraichissement par aération**
- **Les ventilateurs sont beaucoup utilisés en périodes de canicules** pour palier à l'inconfort



Etat des lieux du confort d'été ressenti, mesuré, et calculé



Facteurs explicatifs des surchauffes

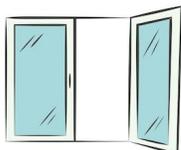


Interactions des occupants avec le bâti

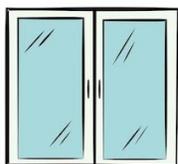
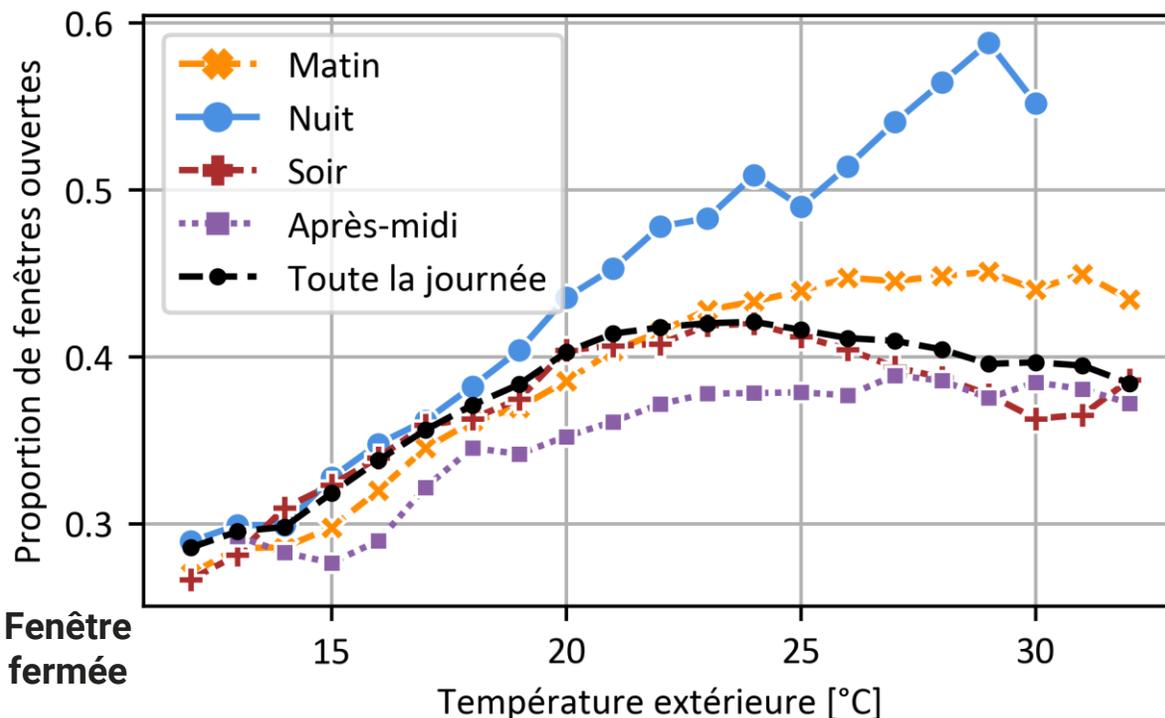


Interactions des occupants avec le bâti

Analyse des données mesurées



Fenêtre ouverte

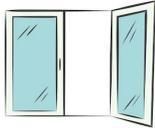


Fenêtre fermée

- **L'après-midi** et **le soir**, les occupants ferment leurs fenêtres lorsque la température extérieure = 24°C.
- **La nuit** et **le matin**, plus la température extérieure augmente plus il y a de fenêtres ouvertes.



Lorsqu'il fait [20°C - 30°C] à l'extérieur ~40% des fenêtres sont ouvertes sur toute la période d'instrumentation.



Fenêtre ouverte

Été classique



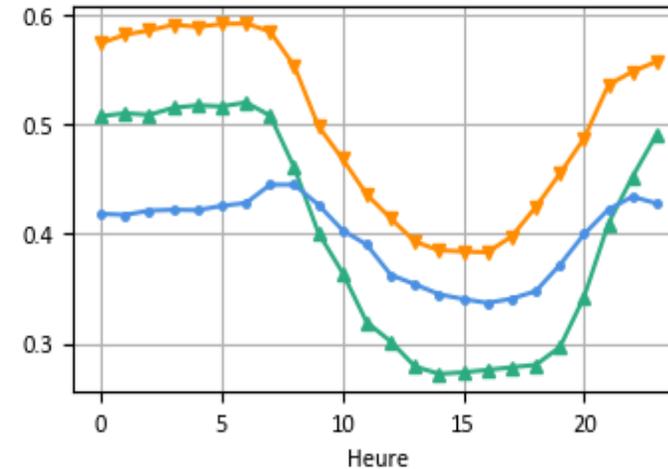
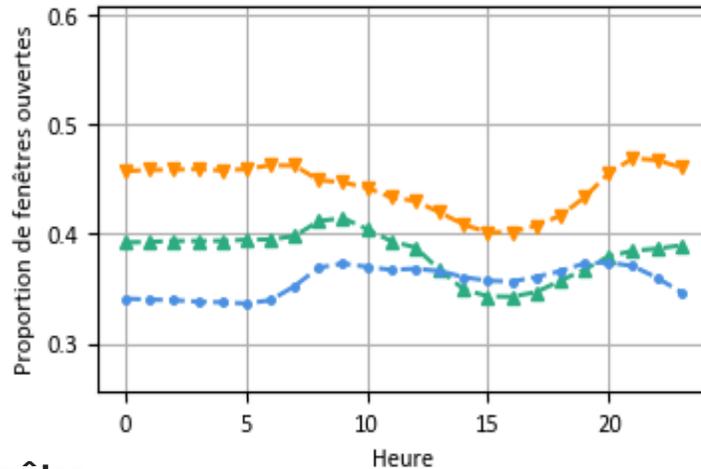
Période caniculaire



SE

GIR

IDF



Mise en place de **comportements adaptatifs** pour se protéger de la chaleur



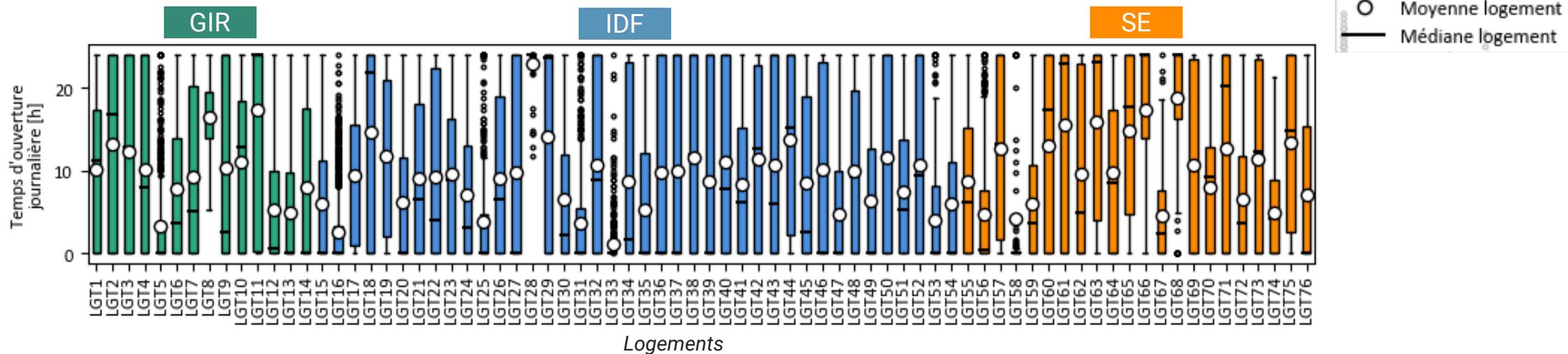
Fenêtre fermée

En **période caniculaire** :

- Mise en place de ventilation nocturne, ouverture des **fenêtres** la nuit et fermeture la journée.
- En région **SE**, d'avantage de fenêtres ouvertes la nuit. En région **GIR**, moins de fenêtres ouvertes la journée
- Occupants d'**IDF** font moins de ventilation naturelle qu'en **GIR** ou **SE** → Ouverture matinale en **IDF**



- Les tendances générales du comportement ne **représentent aucun comportement réel**.
- Les températures intérieures et extérieures et les heures de la journée sont des facteurs explicatifs du comportements, mais **n'explique pas tous les comportements**.

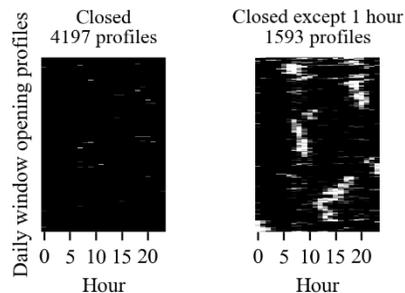


- Les comportements des occupants sont **d'une grande diversité et multifactoriels**.



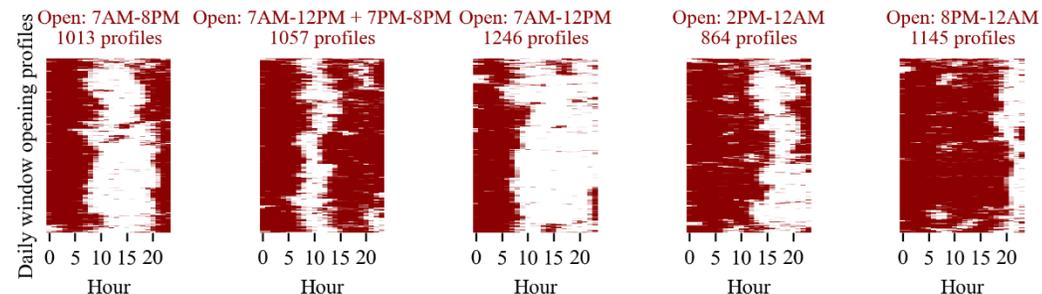
Fenêtres fermées jour & nuit

24%



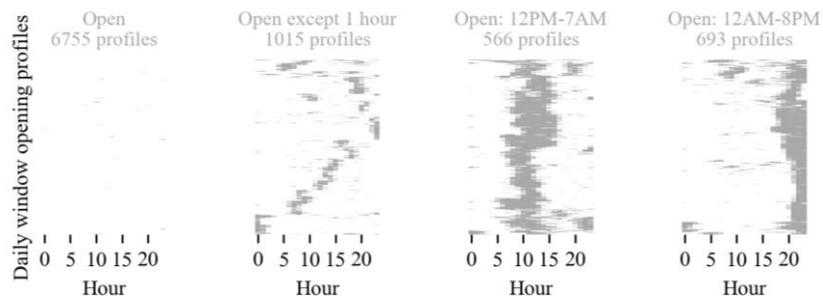
Fenêtres ouvertes la journée & fermées la nuit

22%



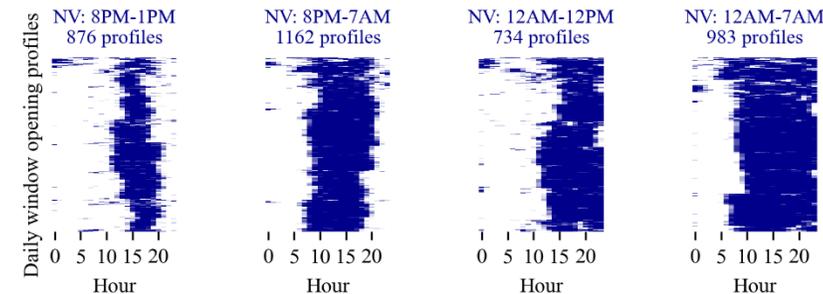
Fenêtres ouvertes jour & nuit

38%



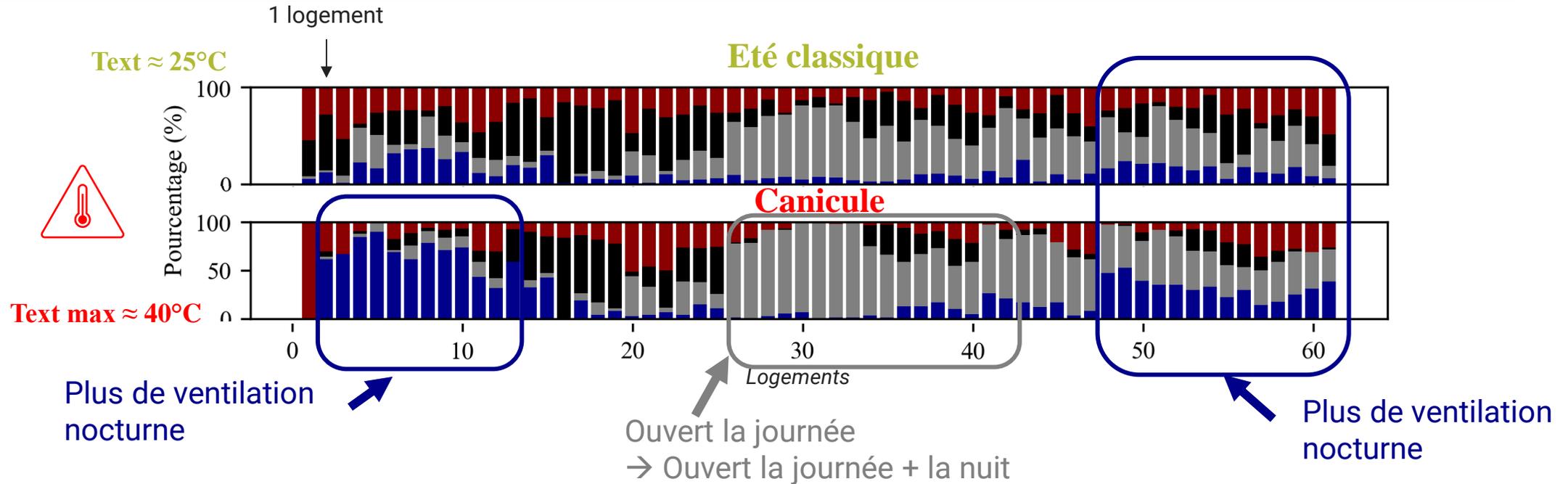
Fenêtres fermées la journée & ouvertes la nuit

16%



- **Grande diversité** de comportements : **15 clusters de profils** de journées différentes, regroupés en **4 groupes**
- Un même logement a différents comportements d'une journée à une autre et d'une pièce à une autre
- **Sur 46 % des journées** étudiées, on observe **très peu d'interactions avec les fenêtres** (sur les 4 mois d'étés)

□ Fenêtre ouverte
■ Fenêtre fermée



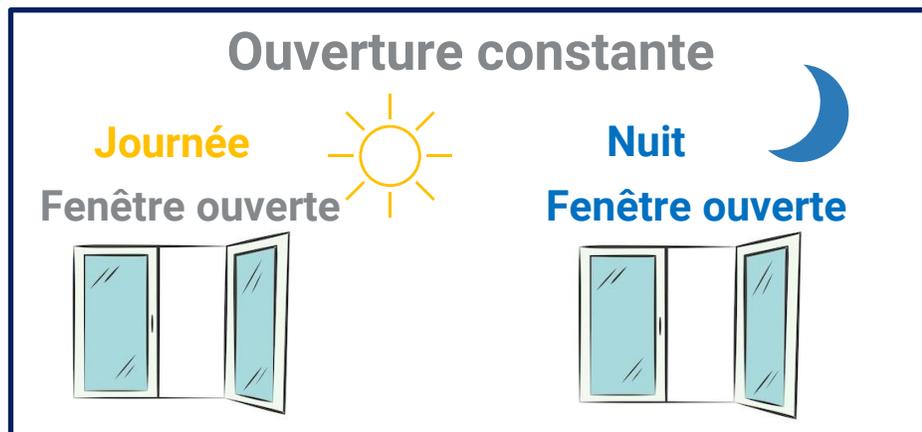
- **70% des logements changent** leurs comportements avec les fenêtres entre les deux périodes
- En période de **canicule** on observe une augmentation de comportements liés à la **ventilation nocturne** : **Fenêtres fermées jour & ouvertes la nuit** et **Fenêtres ouvertes jour et nuit**

■	Fenêtres fermées la journée & ouvertes la nuit
■	Fenêtres ouvertes jour & nuit
■	Fenêtres fermées la journée & fermées la nuit
■	Fenêtres ouvertes la journée & fermées la nuit

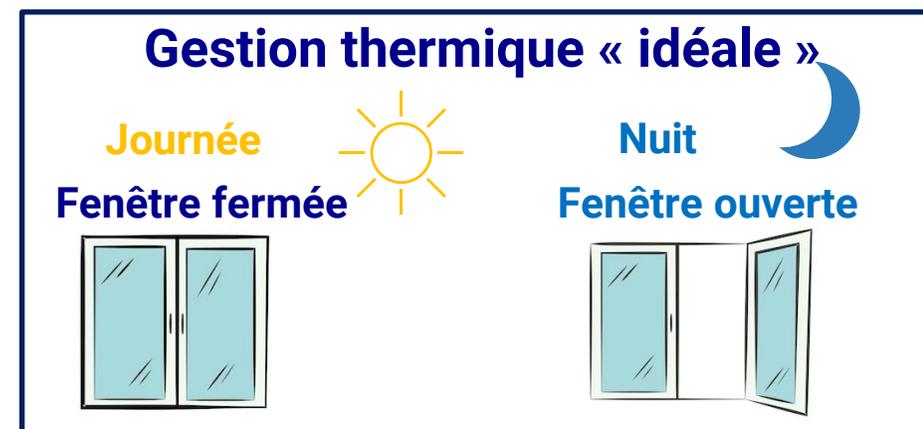


Méthodologie décrite et plus de détail dans :

Data-driven approach to construct typical window behavior profiles during summer and heat waves: Insights from 76 naturally ventilated French buildings Campagna, K., Fouquier, A., Machard, A., Charlier, D., Woloszyn, M., CATE2024 Séville (2024).



**Période
caniculaire**



En période de canicule 30% des journées correspondent
comportement avec **ouverture constante** des fenêtres jour et
nuit.

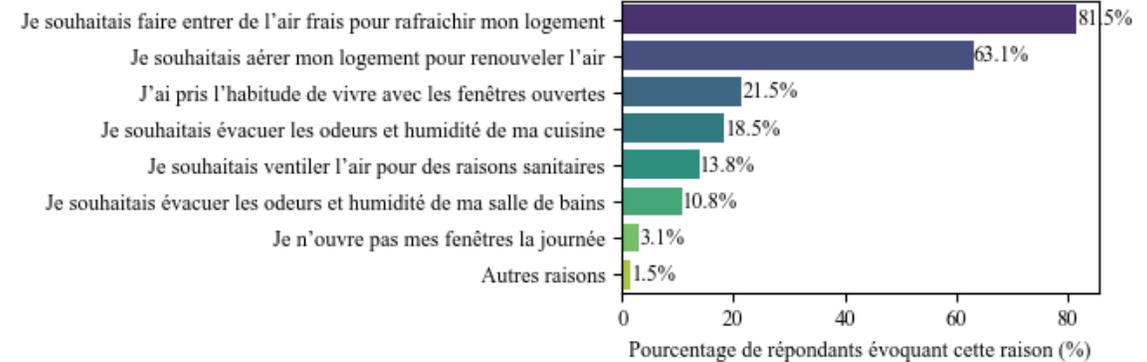
En période de canicule **20% des journées** correspondent à un
comportement de **gestion thermique idéale**.

- On constate une **forte augmentation de fenêtres ouvertes la nuit en période de canicule (50 % de fenêtres ouvertes nuit en **canicule** vs 37% de fenêtres ouvertes la nuit en **été classique**)**
- **Besoin de davantage de recherches pour comprendre à quel point l'ouverture** des fenêtres la journée est néfaste pour le confort des habitants (ressenti courant d'air vs. air qui réchauffe le logement surtout en bâti neuf/rénové) et la marge de manœuvre en termes de sensibilisation et équipements

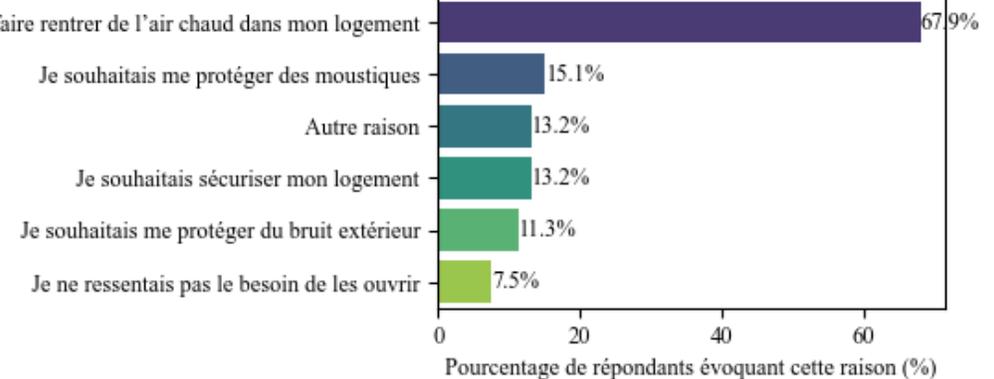


En période estivale « classique », la **journée** lorsque vous étiez chez vous :

Pour quelles raisons **ouvriez-vous** vos fenêtres ?



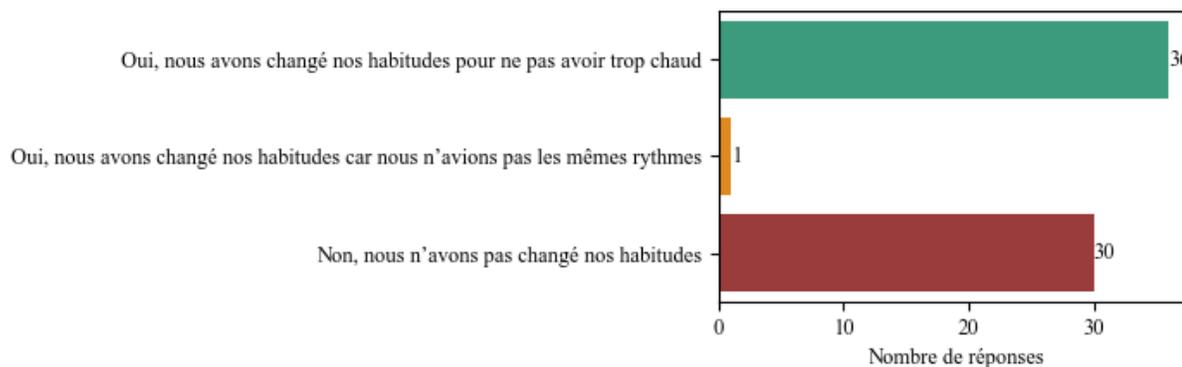
Si vous les **ouvriez-pas ou peu** dans la journée pour quelles raisons ?



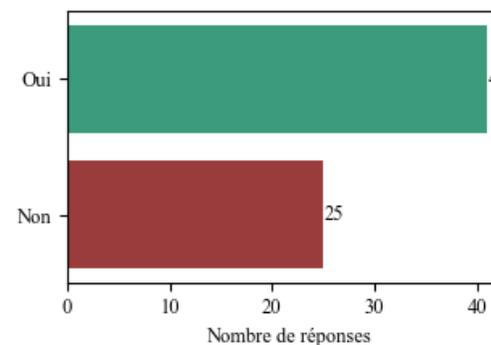


 En **période caniculaire**, la **journée** par rapport à une semaine d'été « classique » :

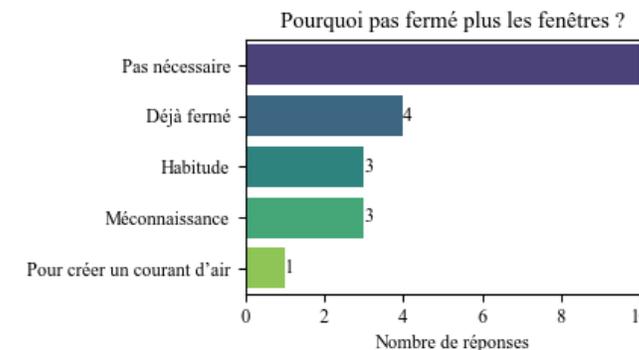
Avez-vous **changé vos habitudes** d'ouvertures/fermeture des fenêtres par rapport à la période d'été classique ?



Avez-vous **davantage fermé vos fenêtres** pour vous protéger de la chaleur en journée, y compris en soirée par rapport à la période d'été classique ?



Unanimement pour se protéger de la chaleur



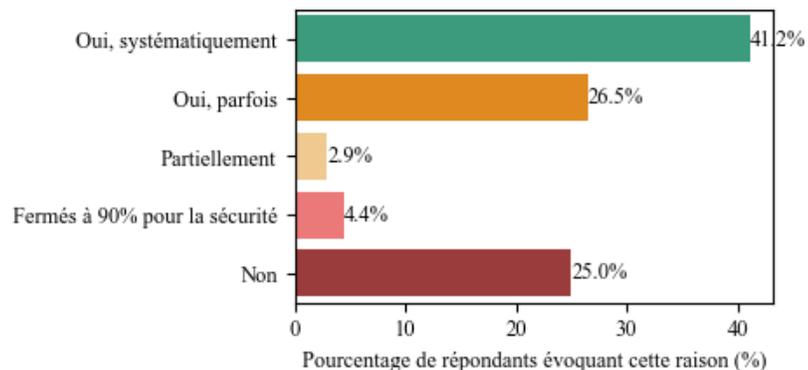


En **période estivale « classique »**, la **nuit** lorsque vous étiez chez vous :

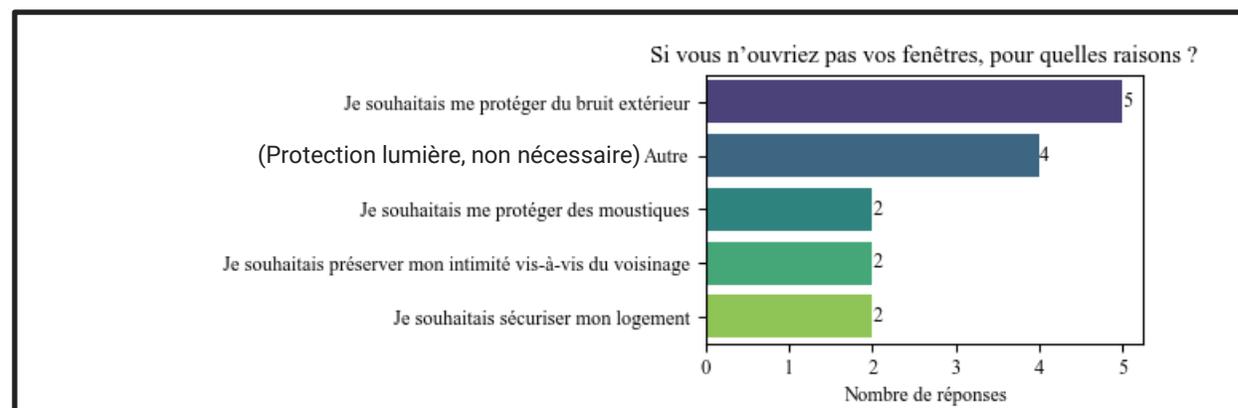
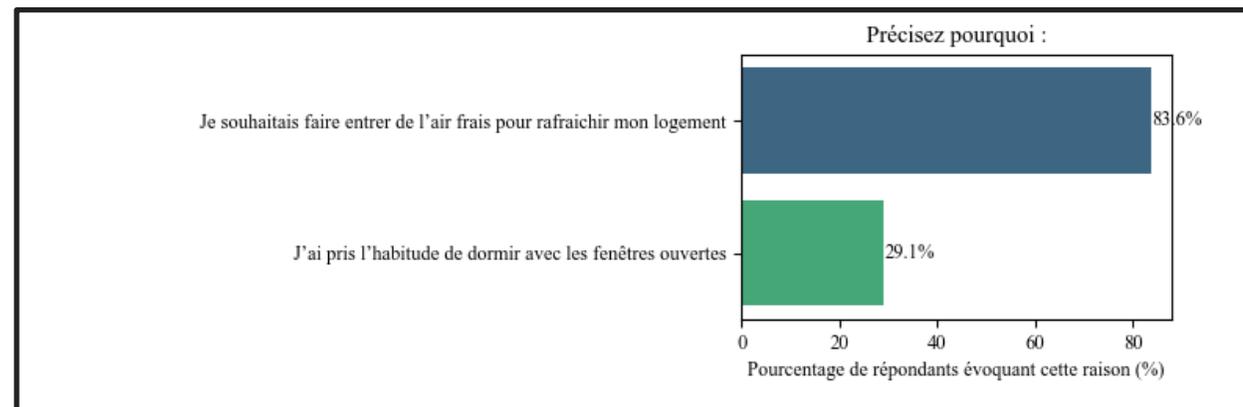


Pourquoi **avoir mis en place une ventilation traversante** ?

Avez-vous volontairement laissé ouvert une ou plusieurs fenêtres et volets la nuit dans votre logement afin de favoriser une **ventilation traversante** dans votre logement ?



Pourquoi **ne pas avoir mis en place de la ventilation traversante** ?

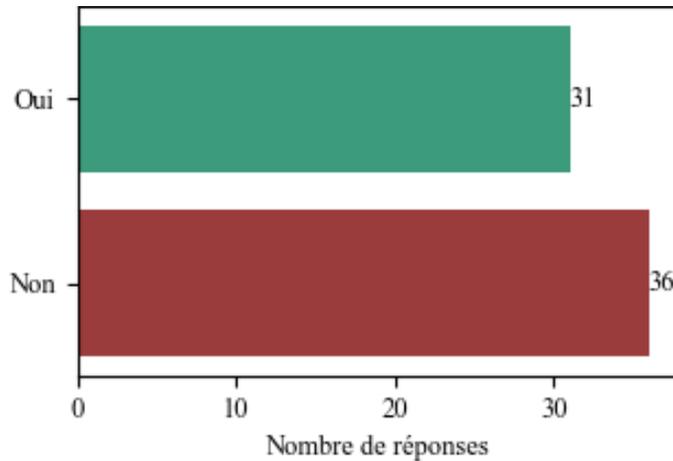




En **période caniculaire**, la **nuit** par rapport à une semaine d'été « classique » :

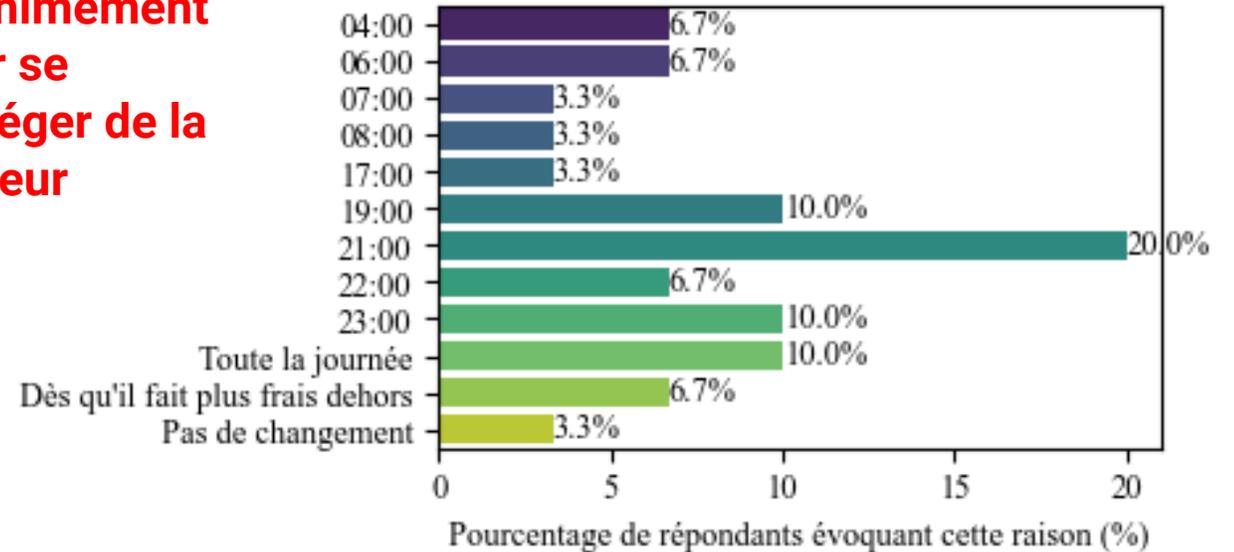
*Oui ouvert d'avantage
les fenêtres la nuit,
pourquoi ?*

*Avez-vous **d'avantage ouvert** vos
fenêtres la nuit ?*



**Unanimement
pour se
protéger de la
chaleur**

A partir de quelle heure les avez-vous ouvertes ?



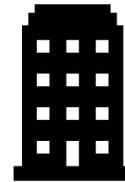


Comparaison des caractéristiques

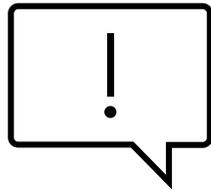
- D'une population ayant une gestion des fenêtres en lien avec la thermique
- D'une autre population ayant une gestion des fenêtres peu en lien avec la thermique



- Age
- Genre
- Métier
- Région



- Etage
- Logements sociaux/privé
- Bruit
- Traversance



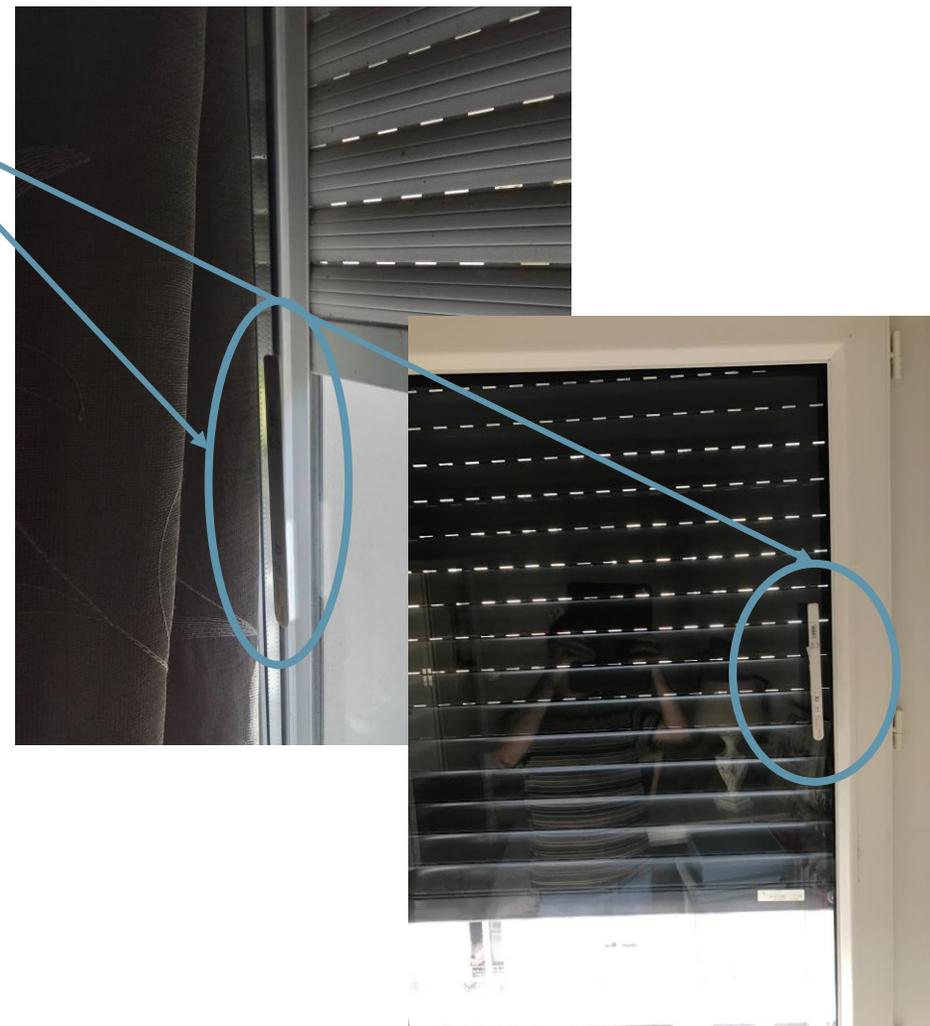
-
- Aucune caractéristique commune dans chaque population
➔ Pas de facteur différenciant entre les 2 populations
 - Faire de la sensibilisation à tout le monde et en particulier aux personnes sensibles.
-

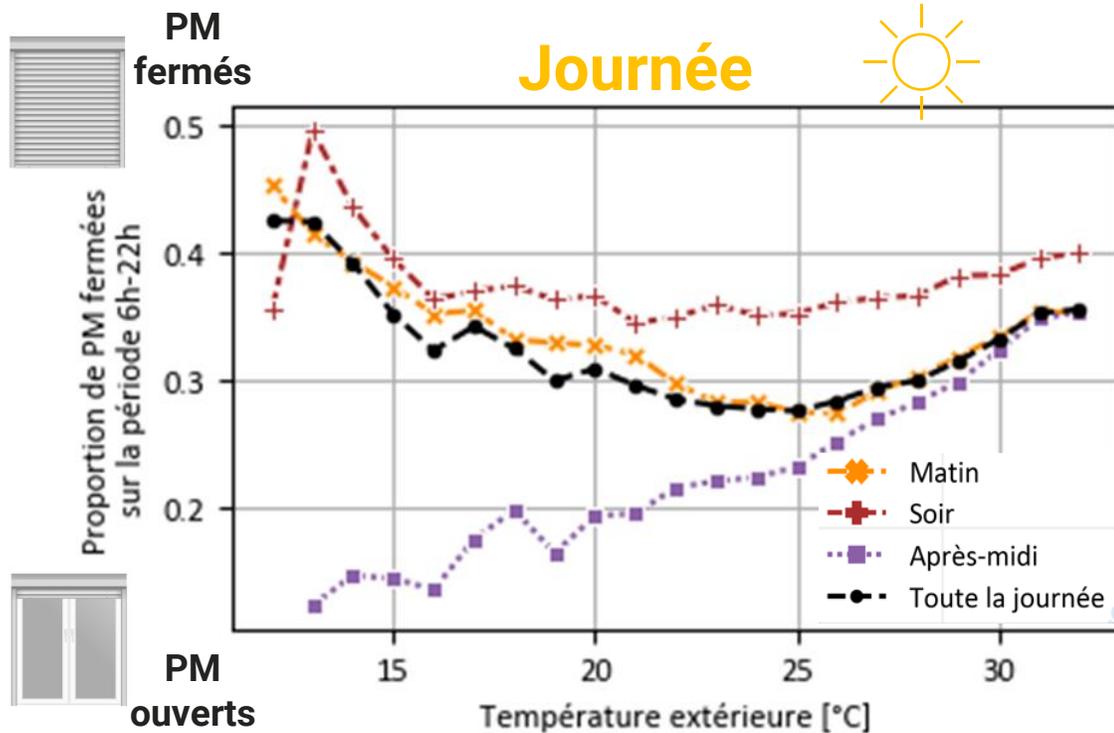


Instrumentation des protections mobiles (PM) via un capteur de luminosité (**luxmètre**) tourné vers l'extérieur des fenêtres.

Limites :

- Pas de données sur la position des PM durant **la nuit**
- **Pas de détection de position entre-ouverte.**
 - Si PM fermée juste au-dessus du capteur
 - Entre ouverte versus
- **Complexité de l'analyse** en fonction de :
 - L'orientation
 - La luminosité extérieure
 - Type de protection (volet roulant vs persienne)



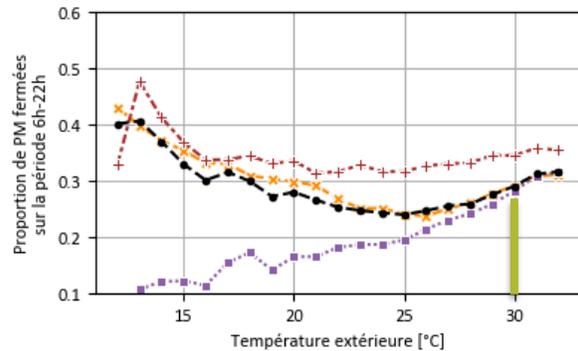


- Durant l'après-midi, plus il fait chaud à l'extérieur, plus les protections mobiles sont fermées
- En période de canicule ($T_{ext} > 25^{\circ}\text{C}$), ~ **35%** des protections solaires sont fermées qu'importe le moment de la journée. Cette valeur dépend de :
 - Des logements
 - Pièce (orientation, type de pièces)
 - Hypothèse prise comme « PM fermées »

Evolution de la proportion de protections mobiles (PM) fermées en journée en fonction de la température extérieure

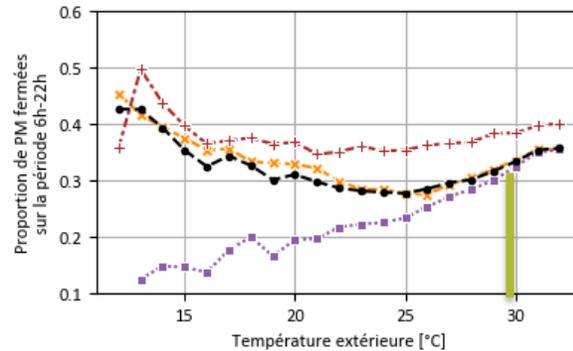
Hypothèse : PM fermée si luminosité inférieure à 100 Lux

50 Lux



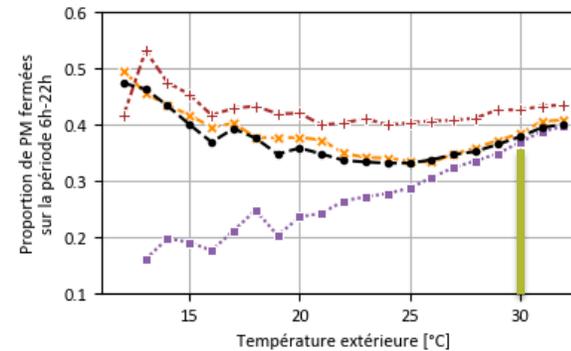
A Text=30°C
~29% de PM fermé

100 Lux



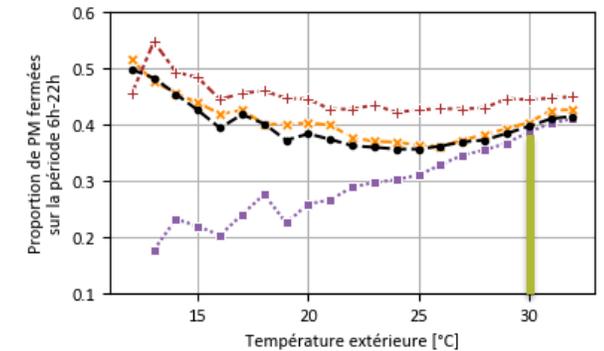
A Text=30°C
~33% de PM fermé

300 Lux



A Text=30°C
~38% de PM fermé

500 Lux



A Text=30°C
~40% de PM fermé

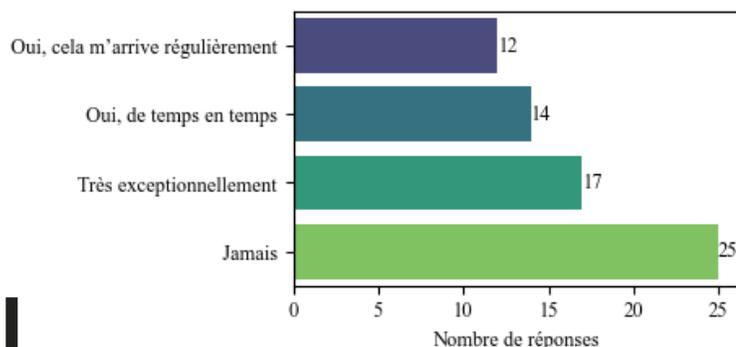
- Le seuil considéré ne change pas la tendance observée. Le seuil choisi change la proportion de PM considéré comme fermé
- 100 lux est un seuil conservateur qui permet d'être sûr que la PM est fermée



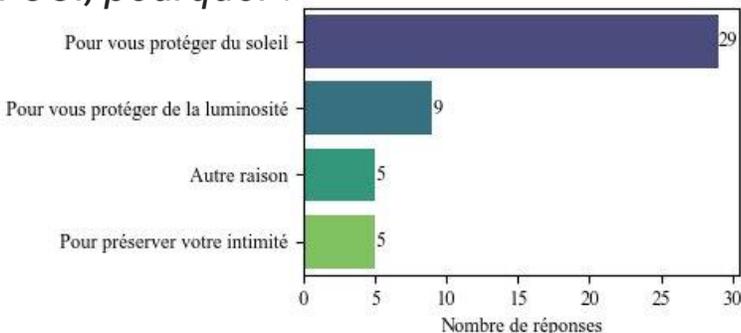
Lorsque vous êtes chez vous en **journalée**,

Mi-saison

Vous arrive-t-il de fermer, au moins partiellement vos protections solaires extérieures dans les pièces de vie ?

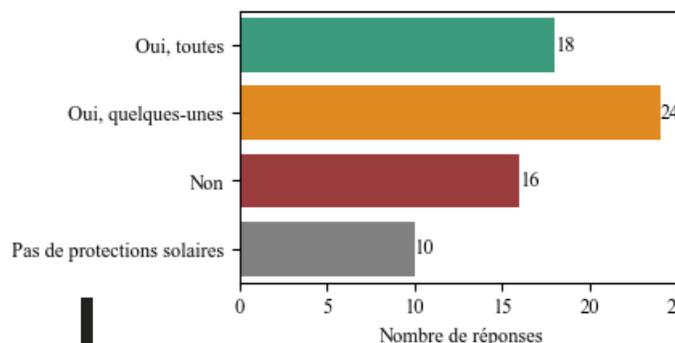


Si OUI, pourquoi ?



Période estivale classique

Fermiez-vous vos protections solaires ?



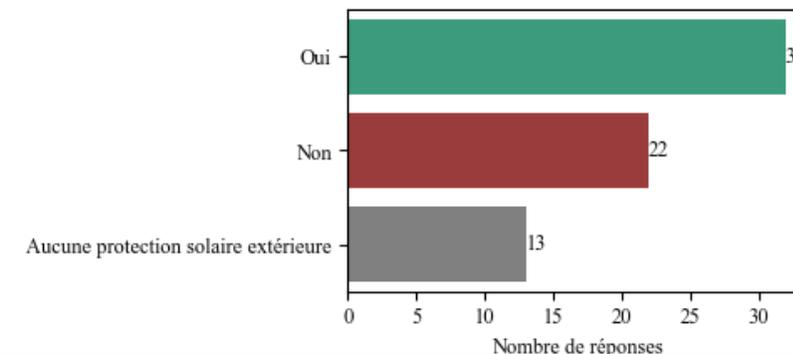
Si NON, pourquoi ?

Pourcentages de répondants évoquant :

- 41% : N'avoir pas senti le besoin de le faire.
- 41% : Souhaitait conserver de la luminosité dans leur logement pour leur confort
- 32% : Souhaitait conserver de la luminosité dans leur logement pour des activités (travail, lecture...)
- 18% : Ouvrait les fenêtres et les volets pour aérer leur logement
- 13% : Utilisait un ventilateur et n'a pas ressenti le besoin de fermé ces protections solaires.
- 5% : Souhaitait conserver de la luminosité dans leur logement pour leurs plantes

Période caniculaire

Fermiez-vous vos protections solaires d'avantage ?





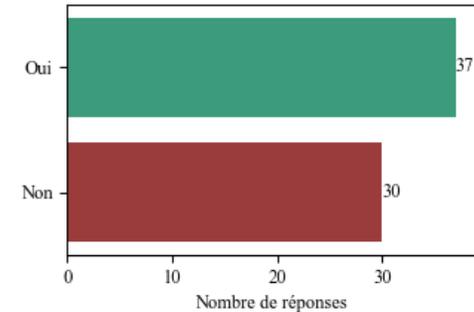
Nuit

(D'après les questionnaires)

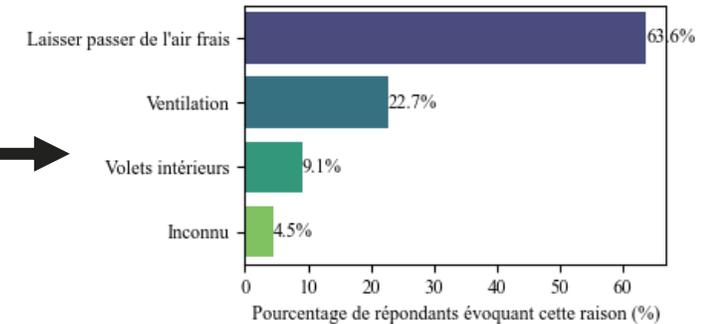


La **luminosité** est la principale cause de la **fermeture des PM** durant la nuit.

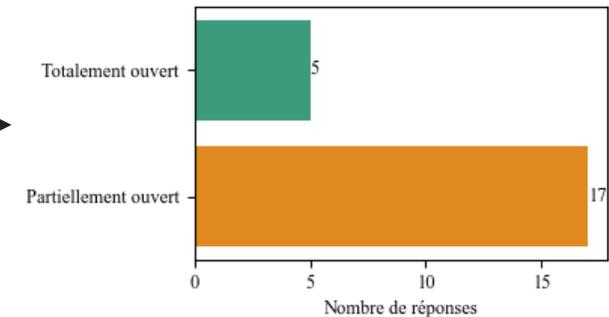
Est-ce que la luminosité vous empêche de dormir ?



PM ouvertes,
pourquoi ?



PM ouvertes,
comment ?



- En période **estivale classique** :
 - **66%** des logements gardent leurs volets ouverts ou entre-ouverts durant la nuit.



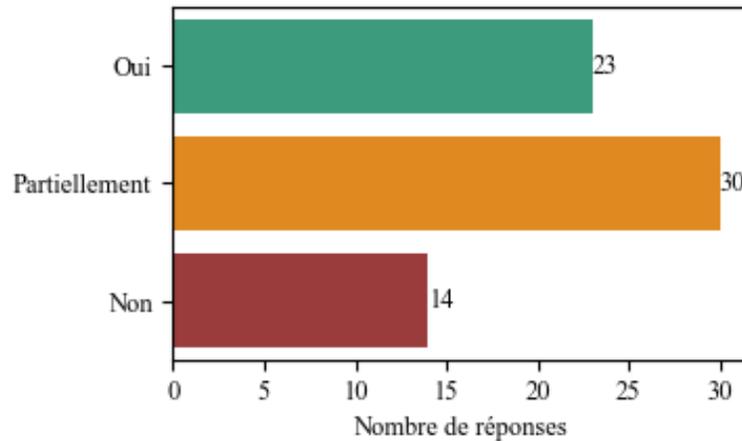
- En **période caniculaire** :
 - **79%** des logements gardent leurs volets ouverts ou entre-ouverts durant la nuit.



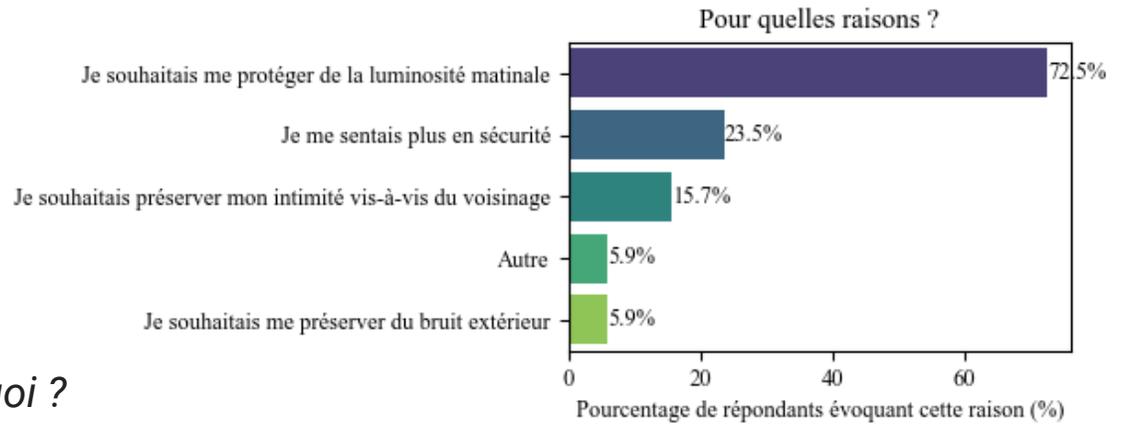


En période **estivale classique**, lorsque vous êtes chez vous la **nuit** :

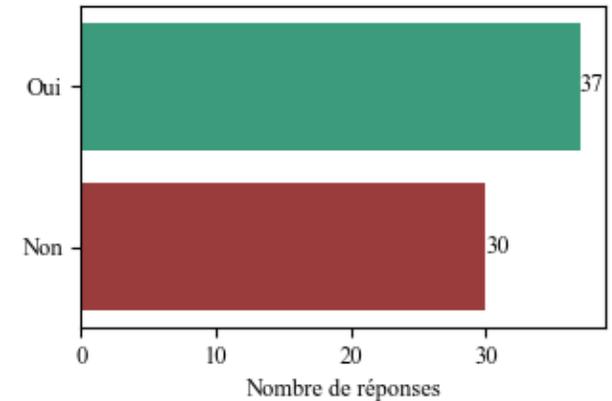
Fermiez-vous vos volets ?



Non, pourquoi ?



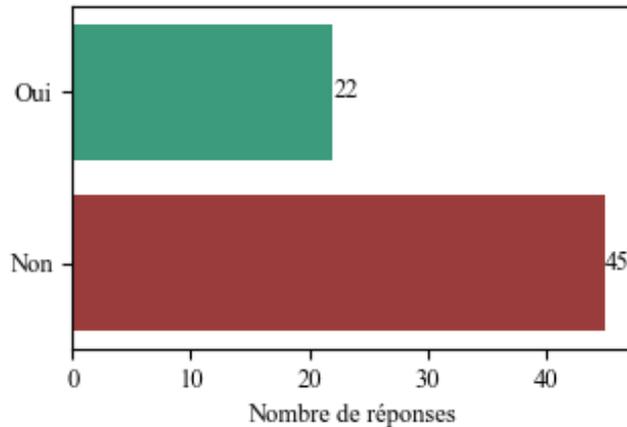
Est-ce que la luminosité vous empêche de dormir ?



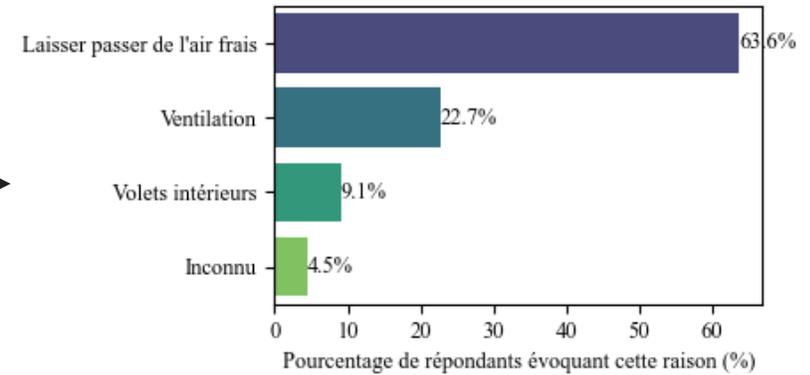


En période **caniculaire**, lorsque vous êtes chez vous la **nuit** :

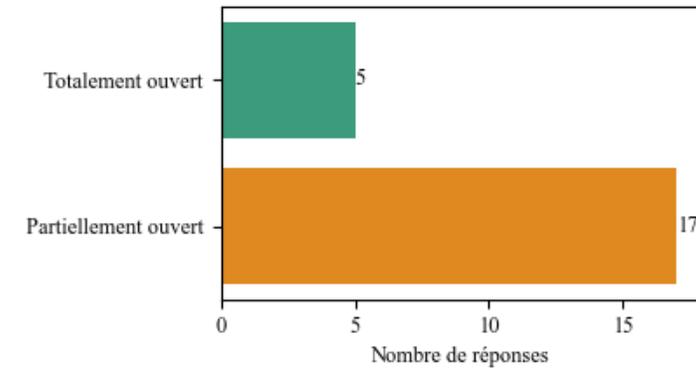
Avez-vous d'avantage ouvert vos volets la nuit ?

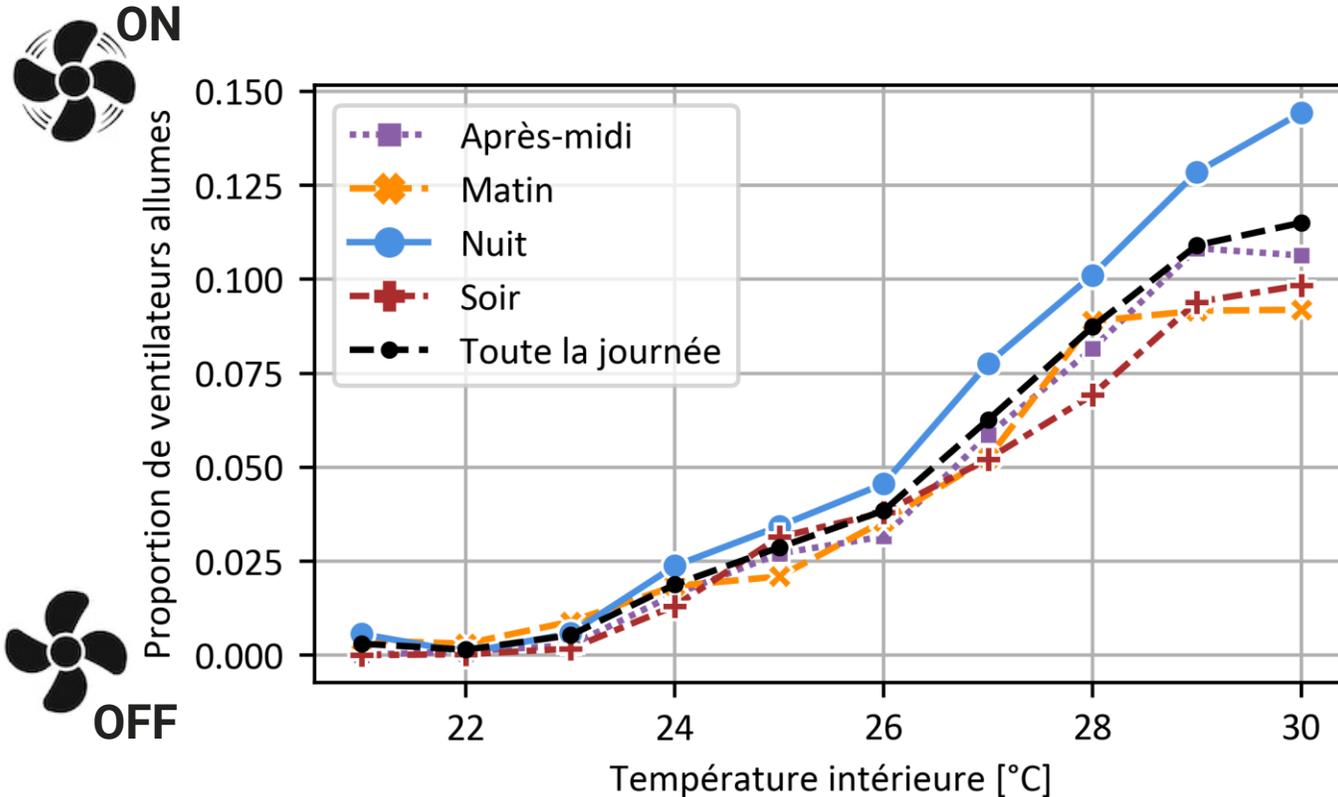


Oui, pourquoi ?



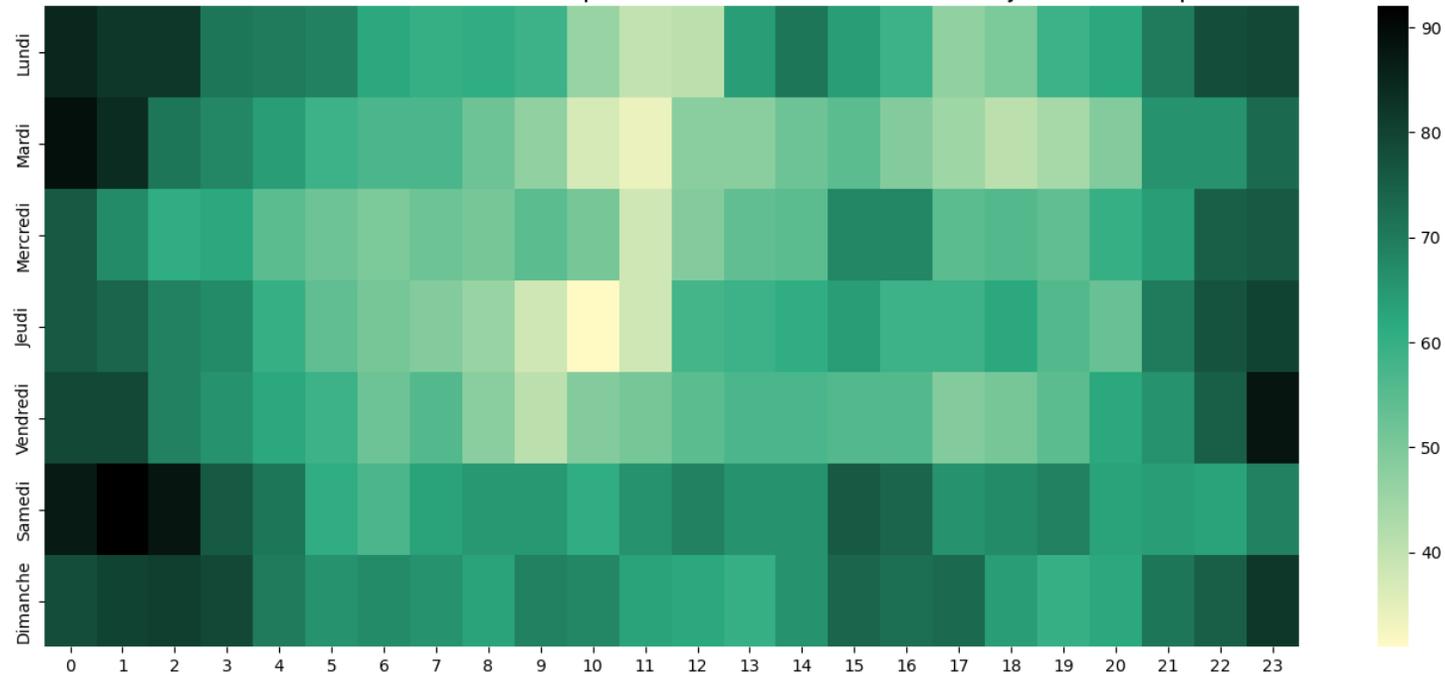
Oui, comment ?





- Plus la température intérieure est élevée plus les ventilateurs sont utilisés.
- Les ventilateurs sont davantage utilisés la nuit.
- A partir de 26°C, plus grande utilisation
- Pas d'utilisation de ventilateurs en dessous de 20°C.

Nombre d'heure d'utilisation des ventilateurs par heure de la semaine du 1er juin au 30 septembre 2023

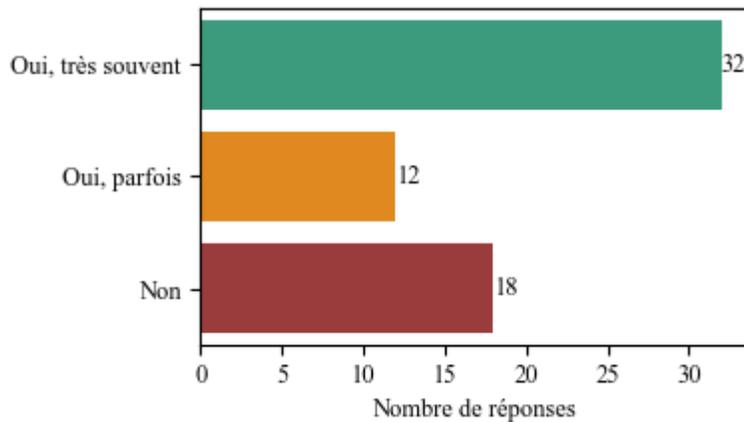


- Les ventilateurs mobiles sont utilisés davantage la nuit (21h-4h) et l'après-midi (15-16h)
- Utilisation plus fréquente le weekend

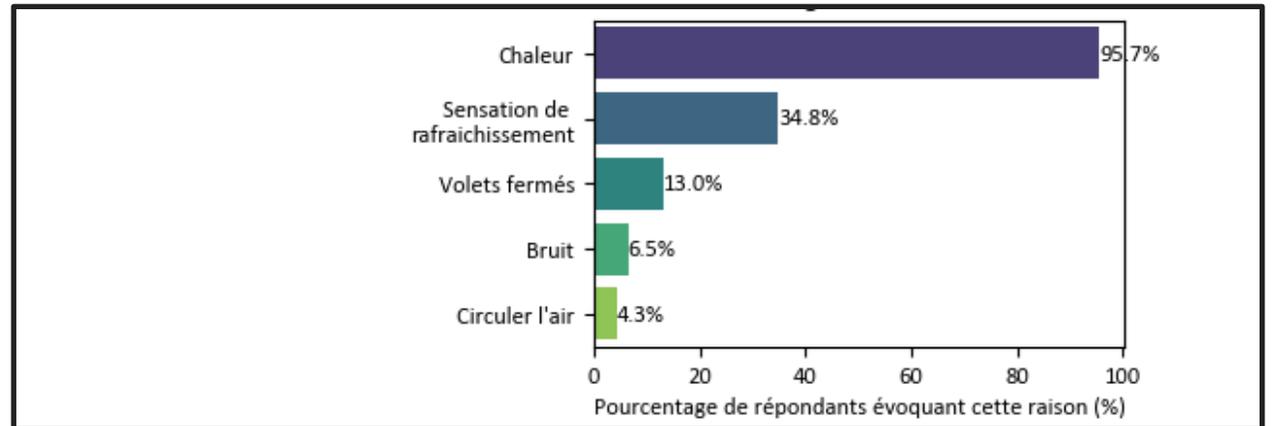


Lorsque vous êtes chez vous en **journée**, en **période caniculaire** :

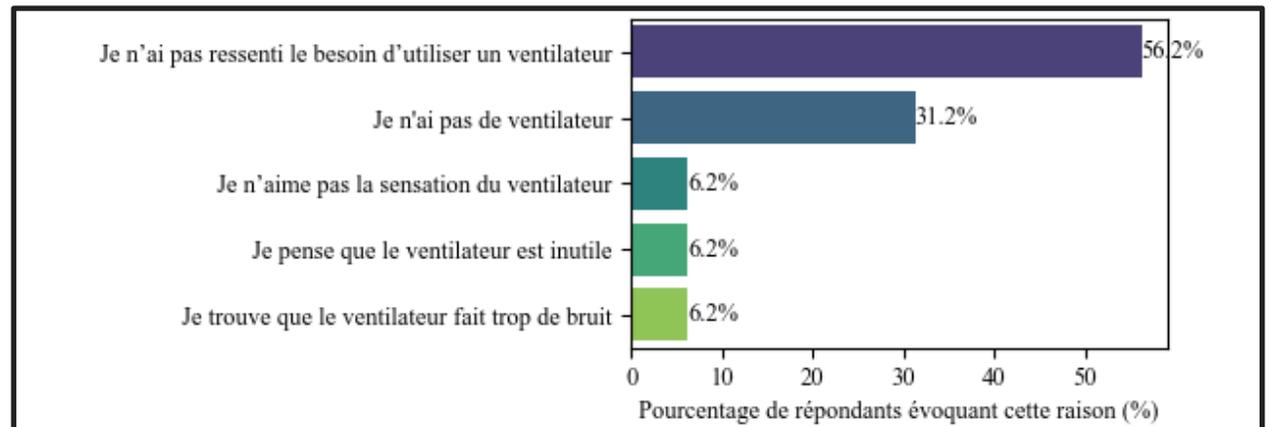
Avez-vous utilisé un ventilateur ?



Oui utilisé un ventilateur, pourquoi ?



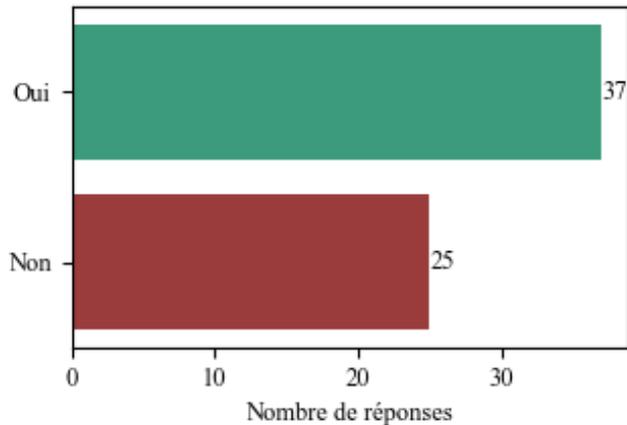
Non pas utilisé de ventilateur, pourquoi ?



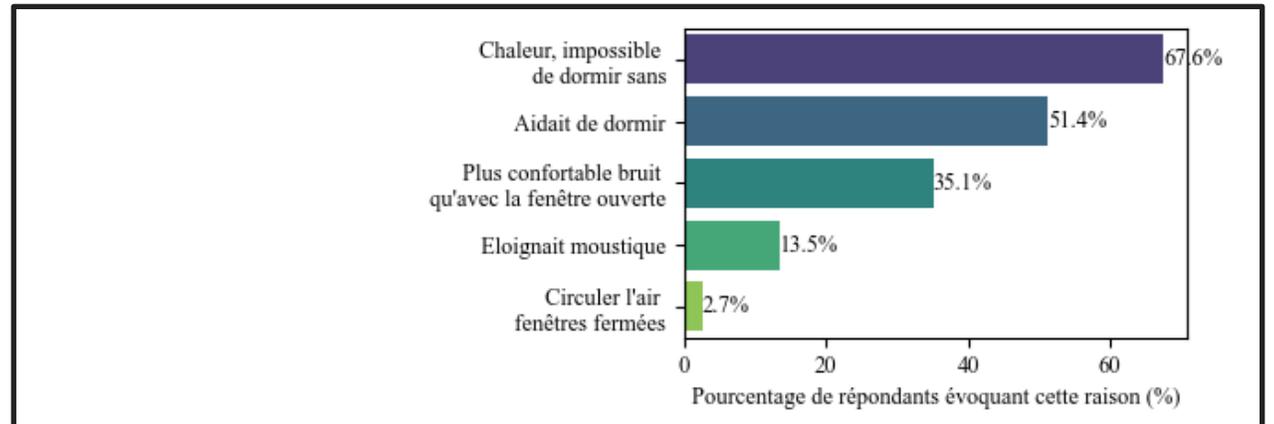


La nuit, en période caniculaire :

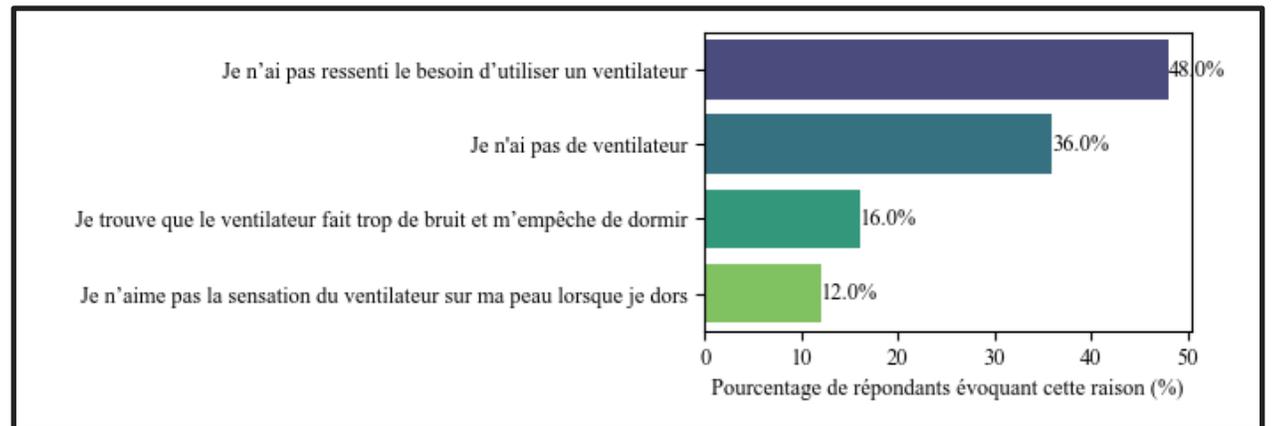
Avez-vous utilisé un ventilateur ?



Oui utilisé un ventilateur, pourquoi ?



Non pas utilisé de ventilateur, pourquoi ?

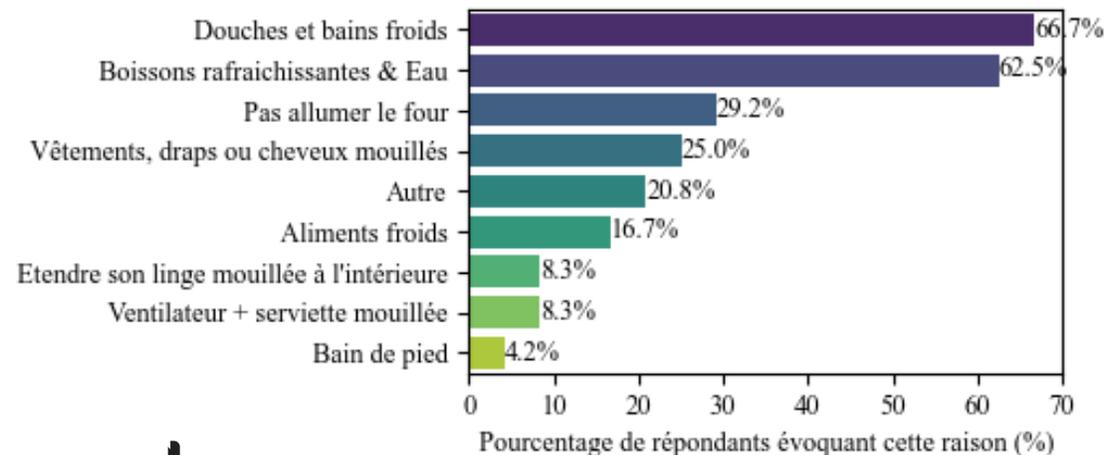
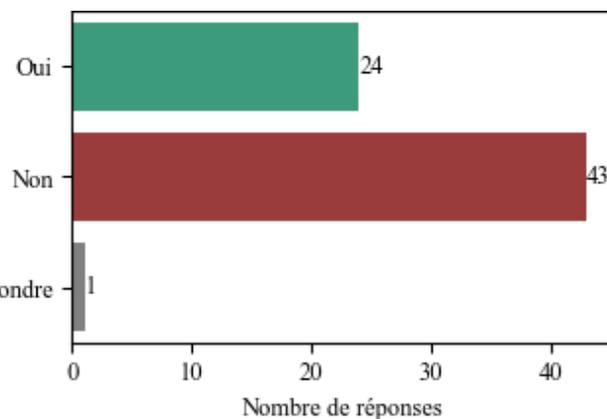




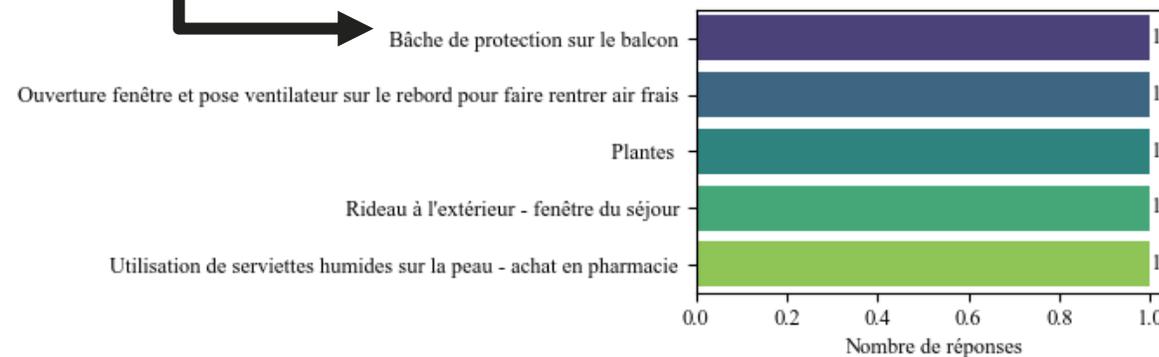
En période caniculaire :

Oui, quelles étaient-elles ?

Avez-vous mis en place d'autres stratégies pour améliorer votre confort thermique ?



Quelques autres :



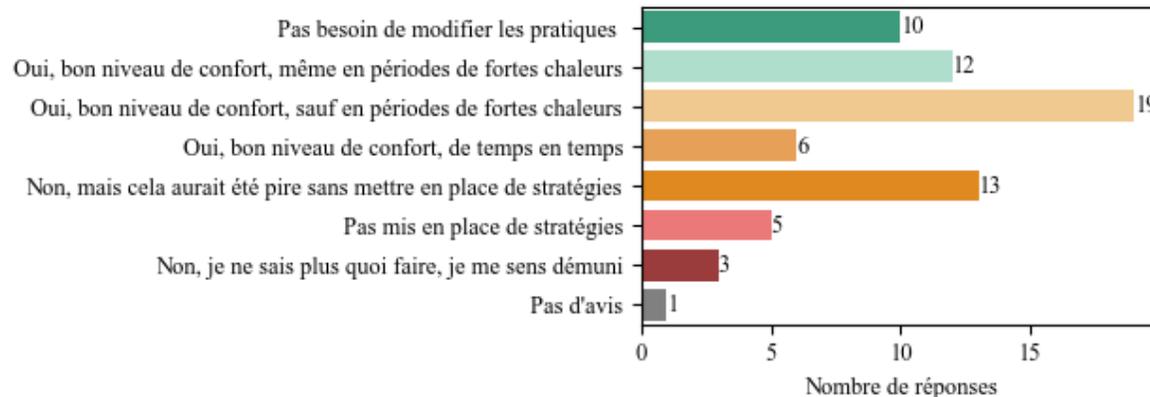


- ~ **25 % des occupants** estiment qu'avec la mise en place de leurs pratiques, **leur logement a un bon niveau de confort la plupart du temps**
- ~ **45 % des occupants** estiment que malgré la mise en place de pratiques, **leur logement n'a pas eu un bon niveau de confort en période de canicule**

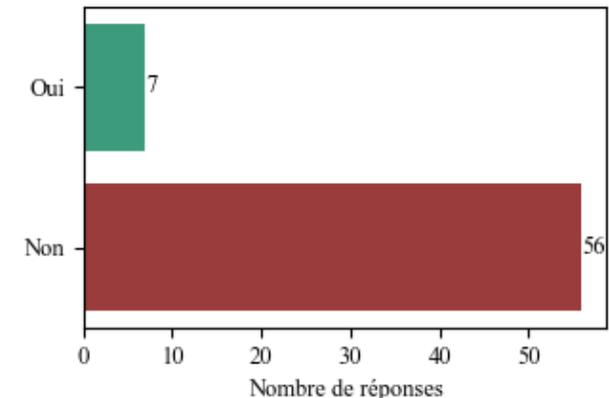
€€

- Les **ressources financières** sont un frein à la mise en place de pratiques pour **11% du panel**

Cet été, pensez-vous que vos pratiques mises en place pour améliorer votre confort thermique dans votre logement ont été efficaces ?



Est-ce que pour des raisons financières, vous n'avez pas pu mettre en place certaines actions pour améliorer votre confort thermique pendant l'été? (Achat de ventilateur, stores extérieurs, moustiquaires, ...)



Valorisation des travaux via la rédaction d'articles de conférence :

Kevin Campagna, Aurélie Fouquier, Anaïs Machard, Dorothée Charlier, Monika Woloszyn.

Analyse et modélisation des interactions des occupants avec les fenêtres dans les chambres des logements français durant l'été.

IBPSA France 2024, La Rochelle-Oléron



Kevin Campagna, Aurélie Fouquier, Anaïs Machard, Dorothée Charlier, Monika Woloszyn.

Data-driven approach to construct typical window behavior profiles during summer and heat waves: Insights from 76 naturally ventilated French buildings

CATE 2024 Séville

Kevin Campagna, Aurélie Fouquier, Anaïs Machard, Dorothée Charlier, Monika Woloszyn

Observed vs. simulated occupant behavior : Exploring the summer comfort gap induced by occupants in the French building energy code

CisBat 2025, Lausanne

D'autres valorisations en cours d'écriture...



- **Grande diversité des comportements des occupants**
 - Entre les pièces d'un même logement
 - D'un jour à l'autre
 - Entre les différents logements
- Changement de comportement en **période caniculaire** :
 - Mise en place de **ventilation nocturne** par les occupants (ouvertures de fenêtres la nuit et fermeture la journée).
 - Environ **30% des occupants ne changent pas de comportements.**

→ **Comprendre** les facteurs limitants les « écogestes ».

→ **Pédagogie nécessaire** pour développer les « écogestes » dans d'avantage de logements.

→ Vidéos CSTB « écogestes » RENOPTIM

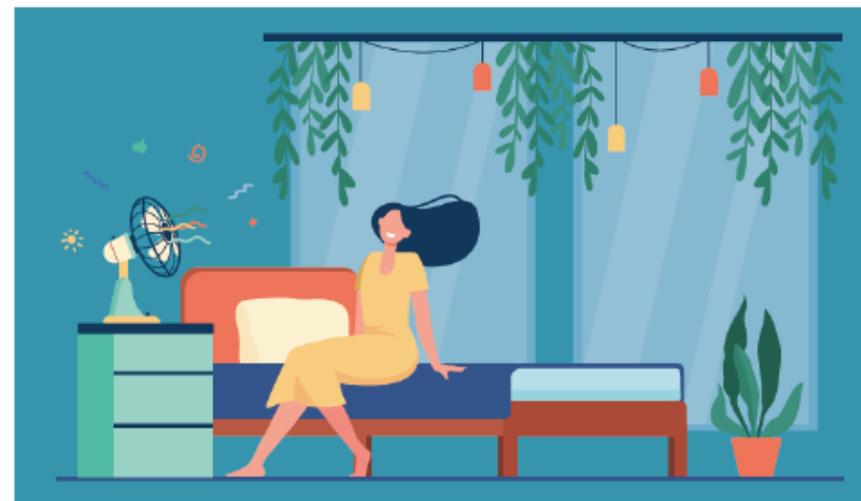


Ecogestes : empêcher la chaleur de rentrer dans votre logement



Synthèse / messages clés

- **76 logements** de bâtiments collectifs (privés et sociaux) répartis dans **3 régions françaises**
- Données d'ambiance intérieure et de microclimat local
- **Données de ressentis thermiques déclaratifs** sur 76 occupants
- **Données thermophysiology** pour 20 occupants
- Données très détaillées (DPE, plans) sur les logements instrumentés
- **Données et questionnaires très détaillées sur le comportement** des occupants
- **Grande quantité de données recueillies et excellente qualité des données** : taux de réponses élevés, maintenance renforcée des données...



Météo



- Le Sud-Est a été la région la plus fortement marquée par la canicule → surchauffes les plus importantes dans les logements et ressentis les plus chauds
- La région IDF est marquée par un fort îlot de chaleur urbain, exacerbé durant la canicule (température extérieure +4°C la nuit en moyenne)

Equipements

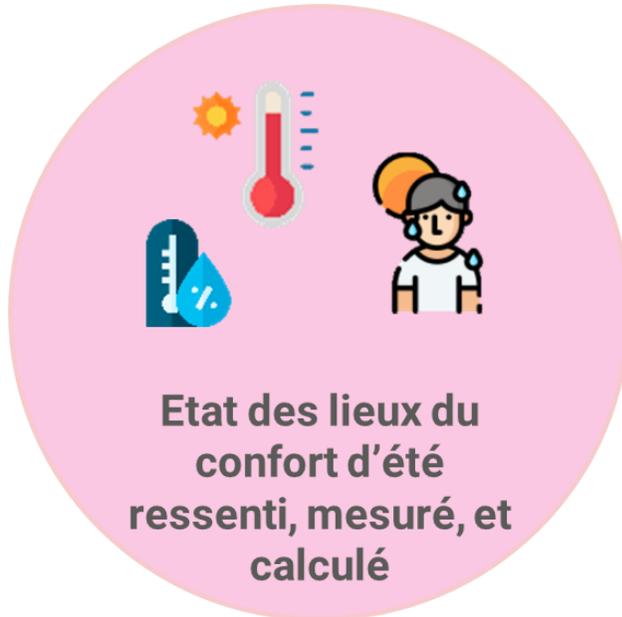


- Majorité des logements équipés de volets roulants
- 80% des occupants sont équipés de ventilateurs mobiles, la moitié les utilisent
- Climatiseurs mobiles utilisés dans 3 logements, également équipés de ventilateurs mobiles

Taux de réponse « box confort »



- Taux de participation important (72%) malgré la durée de l'étude (4 mois), plus important qu'observé dans la littérature



Recueil des réponses déclaratives aux « box confort »

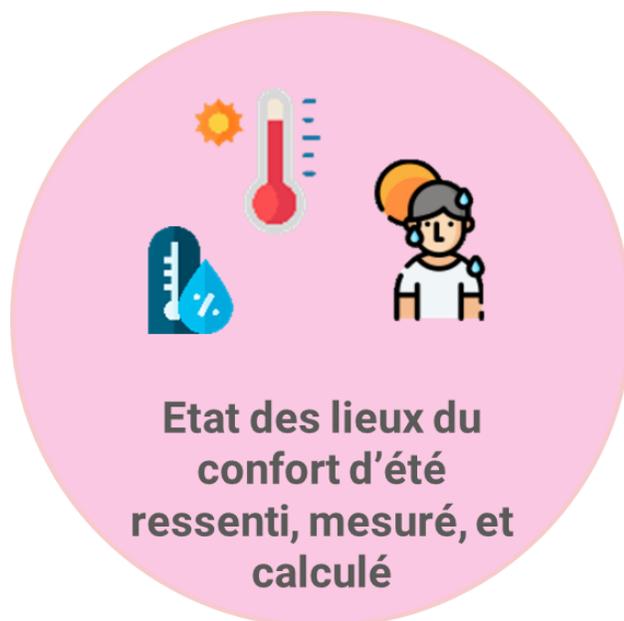
- Grande variabilité de réponses au sein des occupants du panel : **pour une même température, des ressentis thermiques très variés** (pour chaque niveau de confort, 80% des réponses des occupants se situent dans un intervalle de 4,5°C environ)

Seuils d'acceptabilité moyens de confort thermique calculés à partir des réponses aux box

- **Seuil d'inconfort léger** et ressenti « **légèrement chaud** » correspond à la limite basse du seuil de la RE2020 : **26°C**
- **Seuil d'inconfort élevé** et ressenti « **très chaud** » correspond à la limite haute du seuil de la RE2020 : **28°C**

L'évaluation du confort par les réglementations et normes

- Les seuils définis par la RE2020 semblent être plus en phase avec les ressentis des occupants que les seuils de la norme EN 16798-1
- La campagne révèle que la prise en compte de l'humidité relative (région GIR) est une limite dans les seuils définis pour la France métropolitaine > Vers une prise en compte de RH dans les seuils avec un indicateur type SET ? (Standard Effective Temperature)



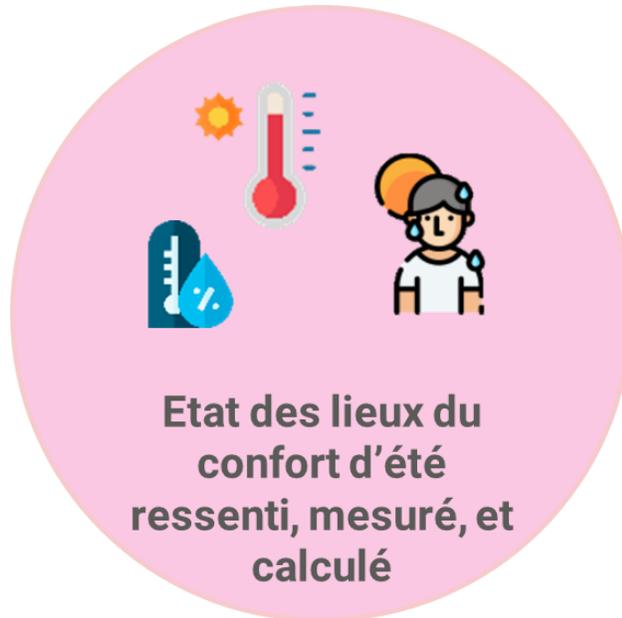
Observations sur le niveau de confort thermique ressenti

- Equivalent 3 semaines de ressenti « chaud » en région IDF et GIR
- Equivalent 4 semaines de ressenti « très chaud » + 3 semaines de ressenti « chaud » en région SE
- 85% des occupants déclarent avoir eu un sommeil impacté par la chaleur durant la canicule, 40 % des occupants estiment qu'il était « très difficile » de dormir à cause de la chaleur

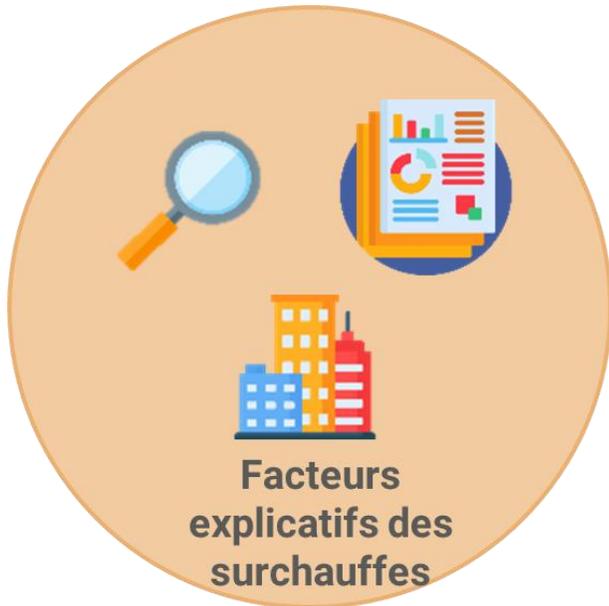
Observations sur les seuils d'acceptabilité

- Ils varient d'une région à l'autre : + 1,3 °C en SE et IDF par rapport à GIR (probablement dû à l'effet de l'humidité relative)
- Ils augmentent en période de canicule : ~ + 2°C
- Ils sont variables au cours de la journée : - 1°C le matin
- Ils évoluent au cours de l'été : augmentation des seuils en IDF et GIR (acclimatation saisonnière ?), baisse des seuils en SE (lassitude de la chaleur ?)

Les mesures physiologiques



- Les températures de peau mesurées sont très corrélées à la perception déclarée des occupants
- La fréquence cardiaque a tendance à augmenter quand les occupants ont chaud
- Les mesures physiologiques effectuées dans le cadre de la campagne permettent de calibrer les modèles de confort thermique existants : spécifiques pour la population française
- Ces modèles de confort seraient capables de calculer la température de peau et de la traduire en niveau de sensation thermique



Tendances observées durant la campagne expérimentale

Isolation

- Les bâtiments non isolés conduisent à des surchauffes plus importantes que les bâtiments isolés
- Les logements en dernier étage non isolés surchauffent beaucoup plus que ceux isolés : l'isolation du dernier étage représente un facteur majeur de surchauffe du logement en dernier étage

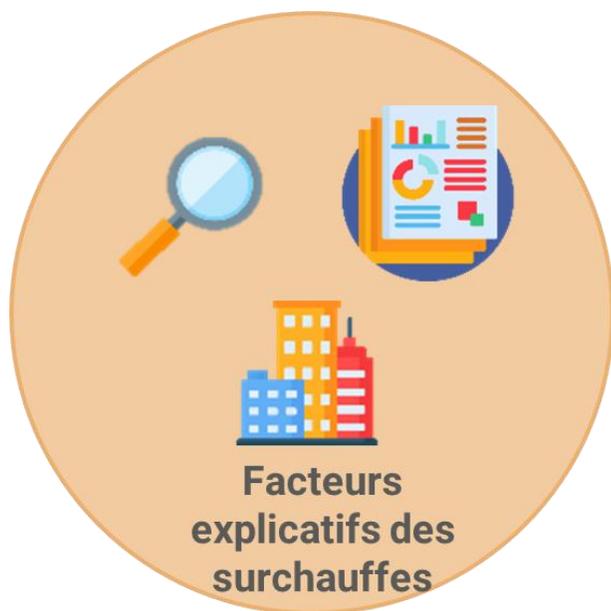
Etage

- Les logements en étages plus élevés, plus soumis aux apports solaires sont plus à risque de surchauffe
- Les logements en rez-de chaussé sont plus frais

Surface

- Les petits logements (studio) sont plus à risque de surchauffe

→ La combinaison de ces paramètres représente la configuration la plus à risque de surchauffe



Tendances observées durant la campagne expérimentale

- La prédisposition du logement à la surchauffe est **multifactorielle** : l'ensemble des facteurs y contribue

Aspect traversant du logement

- Il n'a pas été *directement* constaté que les logements traversants sont moins à risque de surchauffe, la gestion des ouvrants et portes intérieures par les occupants entrant en compte pour rendre ce paramètre effectif

Présence de protections solaires extérieures et orientation

- Il n'a pas été *directement* constaté que les logements équipés de protections solaires mobiles extérieures sont moins à risque de surchauffe, l'orientation des baies vitrées et l'usage des occupants entrant en compte pour leur utilisation effective



Tendances générales

- Les comportements sont d'une **grande diversité**, entre les logements, entre les pièces, d'une journée à l'autre et d'une période à une autre
- On ne dégage **pas de tendance entre des facteurs socio-contextuels et le comportement des occupants**
- Les tendances de comportement des occupants sont **similaires à celles observées dans des bases de données d'autres pays** (Suisse, Australie, Japon, ...)



Comportements observés durant la campagne expérimentale

- En été « classique », on observe peu d'interaction avec les fenêtres dans beaucoup de logements dans toute la base de données : beaucoup de fenêtres toujours ouvertes ou toujours fermées
- Mise en place de **comportement adaptatifs** en période de vague de chaleur pour se protéger de la surchauffe : 70% des occupants ouvrent d'avantage leurs fenêtres la nuit pour rafraichir leur logement
- 80% des occupants déclarent garder leurs volets ouverts ou entre-ouverts la nuit avec une fenêtre ouverte pour faciliter une ventilation nocturne pendant la canicule



Comportements observés durant la campagne expérimentale



- Conserver de la luminosité est le facteur principal limitant l'utilisation des protections mobiles (qui sont principalement des volets roulants) → Les occupants demandent des stores en complément
- Les **ventilateurs mobiles** sont **très largement utilisés** en périodes de canicule pour palier à l'inconfort dans les régions SE et GIR, principalement la nuit et durant l'après-midi
- Trois climatiseurs mobiles utilisés pour palier à l'inconfort thermique
- La consommation électrique des climatiseurs mobiles est **~10 fois supérieure** à celle des ventilateurs mobiles



- **La gestion des ouvrants et des protections solaires constitue l'un des principaux facteurs engendrant des surchauffes**
- Equiper les logements de protections solaires et le fait qu'ils soient traversants est primordial, pour donner la possibilité aux occupants de s'adapter, mais il est aussi **nécessaire de sensibiliser aux bonnes pratiques de gestion thermique du logement** afin de limiter la surchauffe
- Certains occupants déclarent de ne pas avoir connaissance de l'usage favorisant le confort thermique d'été, d'autres sont soumis à une diversité de **contraintes contextuelles** (manque d'équipements, bruit, sécurité, ...) ne facilitant pas la mise en œuvre d'une gestion thermique qui limite la surchauffe
- La moitié des occupants estiment que malgré la mise en place de pratiques, leur logement n'a pas eu un bon niveau de confort en période de canicule

La campagne confirme que **la surchauffe est un phénomène multifactoriel** :

- **Le microclimat autour du bâtiment** : température diurne, nocturne, humidité, ensoleillement, vent, ...)
- **Le bâtiment** : isolation, étage, orientation, et ses équipements : protections solaires, ventilateurs, ...
- **Le comportement des occupants** : la gestion des ouvrants, des protections solaires et des ventilateurs a un impact majeur sur la surchauffe et sur le confort thermique des occupants

Par ailleurs, **pour un même environnement intérieur des ressentis thermique très différents ont été observés.**

→ L'outil RENOPTIM vous permettra d'une part d'identifier les logements les plus prédisposés à la surchauffe en croisant ces différents facteurs et d'autre part de prioriser les solutions à mettre en œuvre dans une vision systémique

- ✓ Equiper tous les logements de protections solaires extérieures de couleur claire (en priorité les studios, derniers étages non isolés, logements en étages supérieurs)
- ✓ Isoler les toitures (privilégier l'ITE), notamment pour limiter les surchauffes dans les logements en dernier étage
- ✓ Installer des brasseurs d'air dans les logements (40% des occupants ont utilisé des ventilateurs mobiles l'été)
- ✓ Sensibiliser les occupants aux gestes d'usage pour limiter les surchauffes estivales et identifier le cas échéant les limites à leur mise en œuvre, en particulier pour les personnes les plus vulnérables
- ✓ Prendre en compte le critère de vulnérabilité à la chaleur des occupants dans le process d'attribution des logements (logements plus frais pour les personnes les plus fragiles)



Conclusion et suites

LES LIVRABLES DE L'ACTION 4

Présent rapport

Un **rapport** d'analyse des résultats, dont une synthèse, disponible sur le site PRORENO à partir d'avril 2025

3 **webinaires ciblés** à destination des publics professionnels :

- Bailleurs sociaux : réalisé en novembre 2024
- Membres du COMOP : réalisé en avril 2025
- APC et partenaires logements privés : prévu en mai 2025

5 **articles** de conférence à destination du public académique

- Article 1 : *Analyse et modélisation des interactions des occupants avec les fenêtres dans les chambres des logements français durant l'été* (IBPSA France - La Rochelle-Oléron, Mai 2024)
- Article 2 : *Data-driven approach to construct typical window behavior profiles during summer and heat waves* (CATE – Séville, Novembre 2024)
- Article 3 : *Construction of a summer thermal comfort scale and projection of hot discomfort durations in dwellings* (CLIMA – Milan, Juin 2025)
- Article 4 : *Understanding overheating and thermal discomfort factors in French households : Findings from an experimental campaign during summer 2023* (CLIMA – Milan, Juin 2025)
- Article 5 : *Observed vs. simulated occupant behavior : Exploring the summer comfort gap induced by occupants in the French building energy code* (CisBat – Lausanne, septembre 2025)



Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Rapport bibliographique : état de l'art des connaissances actuelles sur la surchauffe, les moyens d'évaluer le confort ainsi que les moyens d'actions, **dont étude sociologique**

+

6 vidéos écogestes :
ventilateurs, bien aérer,
empêcher la chaleur de rentrer,
limiter la surchauffe,
végétaliser, climatisation en dernier recours

UN RAPPORT ETAT DE L'ART DES CONNAISSANCES, UNE ÉTUDE SOCIOLOGIQUE ET DES VIDÉOS ÉCOGESTES POUR VOS SENSIBILISATIONS





Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

Action 5 : communication et diffusion des connaissances



Rapport Etat de l'art

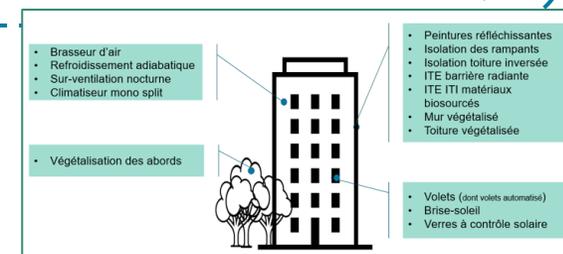


15 fiches solutions
technologiques

+

3 démonstrateurs : test réel de
quelques innovations (mur
végétalisé, refroidissement
adiabatique, volets roulants)

**DES FICHES PLUS SPÉCIFIQUES SUR LES SOLUTIONS
EXISTANTES ET DES FOCUS TECHNIQUES SUR 3 INNOVATIONS**



Contribution partenaires :

- Identification et priorisation solutions
- Rubriques à documenter

LA SUITE DU PROJET

Action 1 : études préalables

Action 2 : bibliothèque de solutions technologiques confort d'été

Action 3 : outils numériques d'aide à la décision

Action 4 : campagne expérimentale in situ

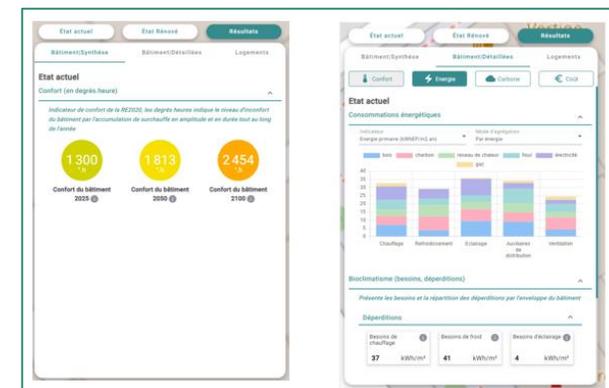
Action 5 : communication et diffusion des connaissances



RENOPTIM



Applicatifs numériques



Contribution partenaires :

- Définition des profils et besoins utilisateurs
- Type de données et indicateurs pertinents
- Bêta-test



Indicateur de surchauffe ISB-DH disponible dans la Base de Données Nationale des Bâtiments



Retrouvez l'intégralité des livrables du projet RENOPTIM sur [notre site internet](#) et sur la plateforme [PRORENO](#)

MERCI À TOUS NOS PARTENAIRES POUR LEUR IMPLICATION AU SEIN DE CE PROJET !

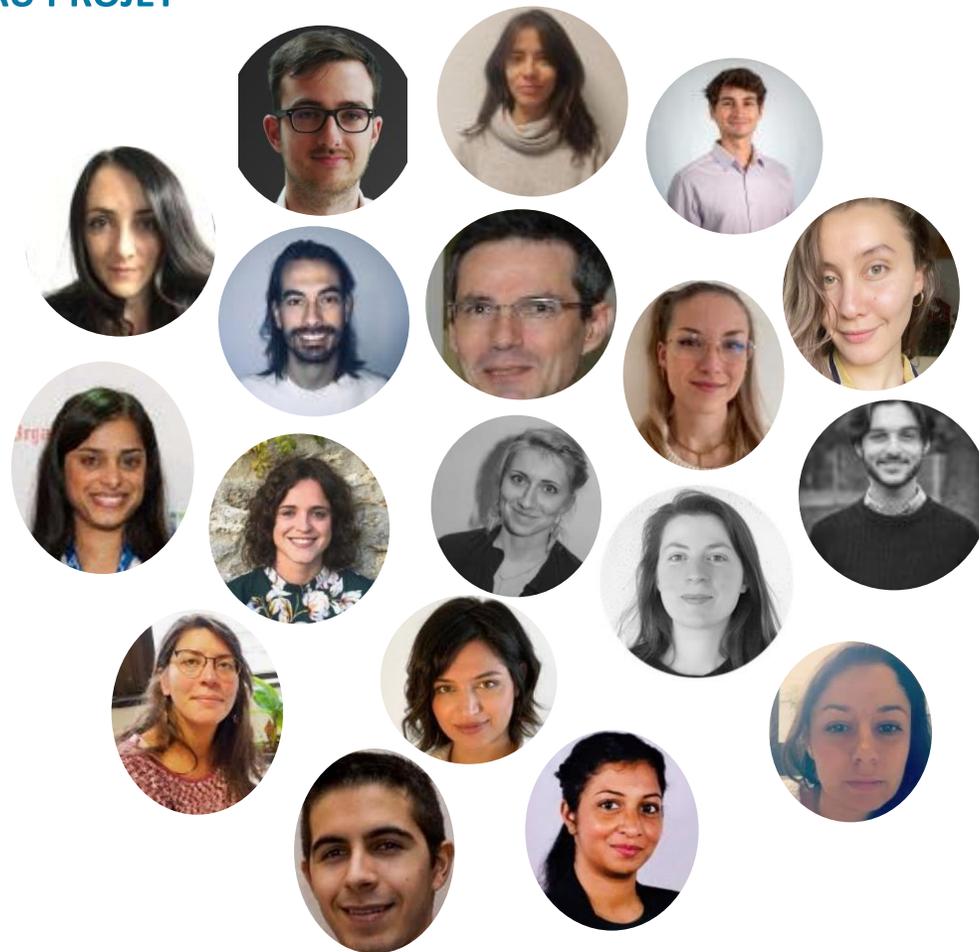


Recrutement, déploiement, transmission des données, maintenance... : un grand nombre de compétences mobilisées !

MERCI À TOUS LES MEMBRES DE L'ÉQUIPE DU CSTB QUI ONT CONTRIBUÉ AU PROJET

Hana ABIDI
Tania ABI MOUSSA
Rukshala ANTON
Fanny ARRAYET
Hugo BERNARD
Marion BESSE
Nawel BOULAININE
Kevin CAMPAGNA
Florence CATALIFAUD
Nicolas COPIN
Hugo COULANDREAU
Anthony COUZINET
François DEMOUGE
Fabrice DE OLIVEIRA
Pierrick GERVASI
Léa GONDIAN
Thierry GUIOT

Florence GUTH
Gwénaëlle HAESE
Lydie LAIGLE
Ségolène LALANDE
Claire LESCURE
Anaïs MACHARD
Emilien PARON
Charles PELE
Dorian RAMOS
Sébastien RITOUX
Clara ROLLET
Doriane ROUSSELLE
Elodie SAID
Ingrid SCHNEIDER
Sharmila THANGARAJAH
Adrien TOESCA



Recrutement, définition des besoins, déploiement, transmission, traitement, suivi de la qualité des données, maintenance, analyse, synthèse... : un grand nombre de compétences mobilisées !



Thierry GUIOT

Directeur du projet RENOPTIM

thierry.guiot@cstb.fr



Gwénaëlle HAESE

Experte analyse sensorielle - mesures physiologiques - perception du confort

gwenaelle.haese@cstb.fr



Elodie SAID

Pilote de la campagne expérimentale

elodie.said@cstb.fr



Adrien TOESCA

Expert bâtiment et adaptation aux changements climatiques - méthode d'évaluation du confort, modélisation et indicateurs

adrien.toesca@cstb.fr



Anaïs MACHARD

Responsable scientifique de l'analyse des données de la campagne

Cheffe de projet Recherche Adaptation des bâtiments au changement climatique

Pilote de l'état des lieux des connaissances

anais.machard@cstb.fr



Kevin CAMPAGNA

Doctorant CSTB/USMB/CEA - Modélisation du comportement des occupants et de son impact sur la surchauffe des bâtiments en période caniculaire

kevin.campagna@cstb.fr

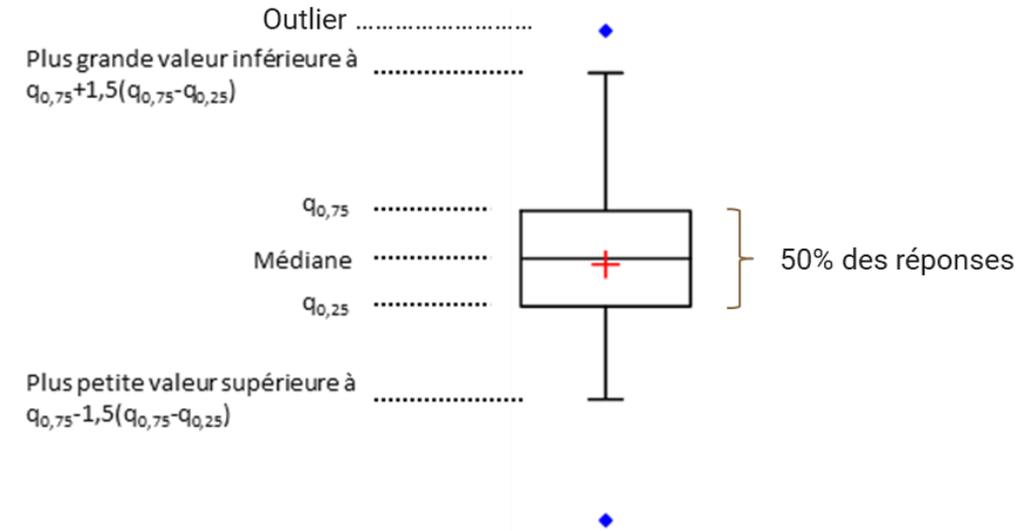


ANNEXES

CSTB
le futur en construction



- Les boîtes de dispersion (ou boîtes à moustaches / boxplots) sont représentées par **un rectangle, délimité par les premier et troisième quartiles**, et qui représente **50% de la population**.
- Dans ce rectangle :
 - la **barre centrale** représente la **médiane**,
 - la **croix rouge** représente la **moyenne**,
 - de part et d'autre du rectangle figurent **deux segments** dont la longueur est environ **1,5 fois l'écart interquartile** (« environ » car chaque segment est en fait délimité par une observation réelle incluse dans cet intervalle, celle qui est la plus éloignée de la médiane).
- Enfin, les observations **au-delà de ces limites** sont représentées individuellement (**outliers**).

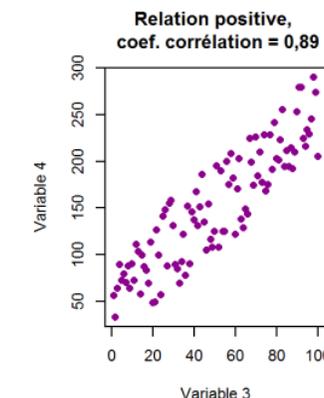
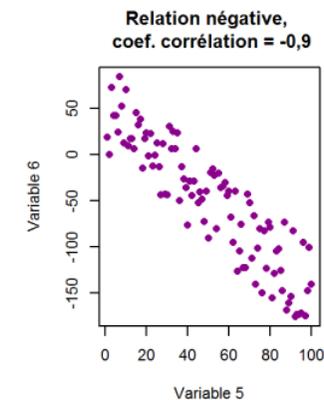
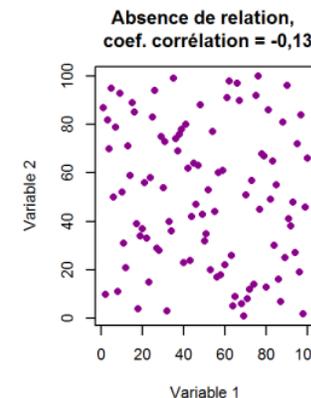




- La **probabilité critique p (ou p-value)** permettra de **conclure sur la significativité des différences** observées (**seuil fixé à 5%**)
 - le risque d'erreur (risque de première espèce) représente la probabilité de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie.
- Ce risque de 5% est, par convention, le risque que l'on prend habituellement.
- En d'autres termes, fixer un risque de première espèce à 5 % veut dire que **l'on admet une probabilité de 5 % de rejeter à tort le fait qu'il n'existe pas de différence significative entre les paramètres comparés.**



- Le **coefficient de corrélation linéaire de Pearson** (r) permet de mesurer la liaison linéaire qui existe entre deux variables quantitatives. Il prend une valeur comprise entre -1 et 1.
- Plus **sa valeur est proche de -1**, plus fort est le lien négatif entre les variables ; **quand l'une augmente, l'autre diminue**.
- Plus **sa valeur est proche de 1**, plus fort est le lien positif entre les variables ; **les deux variables augmentent ou diminuent simultanément**.
- Si le coefficient de corrélation est **proche de 0**, cela signifie qu'il n'y a **pas de lien entre les deux variables**.





- Le **test de Tukey**, permettant la **comparaison multiple par paires** a été effectué afin d'identifier les différences de moyennes des valeurs de la variable quantitative entre les groupes formés par chaque modalité des facteurs qualitatifs.
- Le **test du Khi²** permet d'évaluer **l'association entre deux variables qualitatives** mesurées sur un échantillon de population. Dans notre exemple : la réponse à la question de sensation thermique et le sexe du participant. Le test du Khi² permet de tester les hypothèses suivantes :
 - > H0 (hypothèse nulle) : Les deux variables qualitatives sont indépendantes. Dans notre exemple, cela voudrait dire que la réponse à la question de sensation thermique est indépendante du sexe du participant. En d'autres termes, les proportions de réponses à la question de sensation thermique sont les mêmes quel que soit le sexe.
 - > Ha (hypothèse alternative) en cas de rejet de H0 du test du Khi² : Les deux variables qualitatives dépendent l'une de l'autre. Dans notre exemple, cela voudrait dire que la réponse à la question de sensation thermique dépend du sexe des participants. En d'autres termes, un des sexes a une proportion de réponse au questionnaire différente de celle de l'autre.



Merci pour votre attention

CSTB
le futur en construction