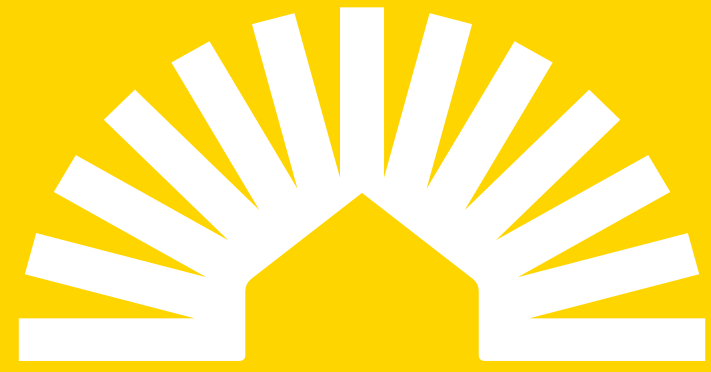




BÂTIFRAIS

Colloque confort d'été dans
les bâtiments et les quartiers #11

CONFORT D'ÉTÉ

ADAPTATION FRUGALES



un évènement organisé par

envirôbât
OCCITANIE

envirobatbcm

ville & aménagement
durable
[Révéler nos pratiques]

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Laurel
Espoir
Provençal

ADEME
NOSSE EN LA
PROSSION
ECLAIRAGE

PRÉFET
DE LA RÉGION
OCCITANIE
L'Occitanie
Provençal

La Région
Occitanie
Provençal

La Région
Occitanie
Provençal

CREATIV

**ConfoRt thErmique, quAlité
de l'air et Vague de chaleur**





CREATIV

ConfoRt thErmique, quAlité de l'air et Vague de chaleur

Présentation du projet de recherche CREATIV

-
- Présentation du projet
 - Retours de mesure de confort d'été dans des logements
 - Retour d'étude enquête socio-économique
 - Retours d'études STD avec prescriptions en vue de réhabilitation de logements vis à vis des enjeux de Confort d'été - évaluation des solutions
 - Présentation des fiches recommandations



CREATIV

Présentation du projet

ADEME APR - Bâtiment 2019



ADEME

MO : Souad
BOUALLALA-SELMi

Groupement



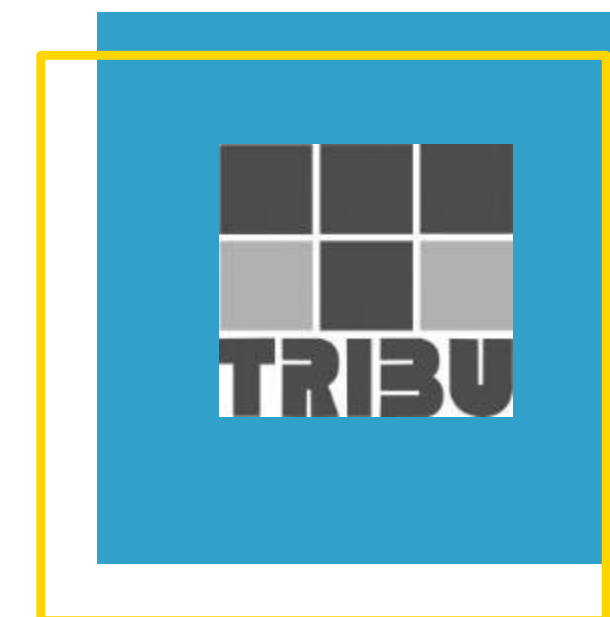
CEREMA

Chercheurs :
Sihem GUERNOUTI
(Coordinatrice)
Bassam MOUJALLED



LEMNA / GRANEM

Economistes :
Muriel TRAVERS
Gildas APPERE

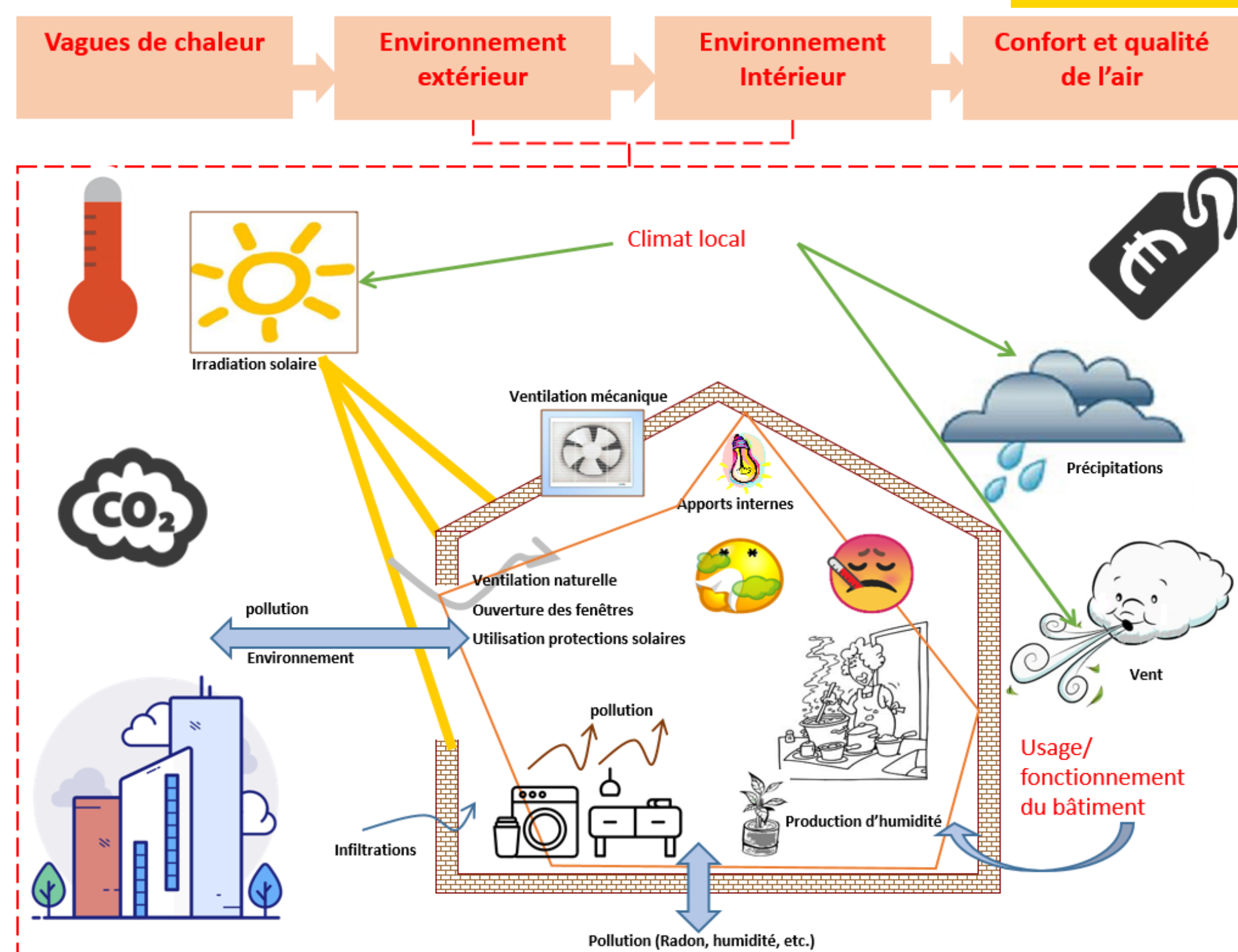


TRIBU

Bureau d'étude Qualité
Environnementale
Sylvaine JUNIQUE
Vinciane TABARD-FORTECOEF

CREATIV

Enjeux et problématiques





CREATIV

Objectifs du projet

Objectifs Scientifiques

- Produire des connaissances sur le comportement des occupants en période de vague de chaleur.
- Mettre en place un modèle global (micro-climatologie, thermo-aéraulique, actions des occupants).
- Analyser l'impact des actions des occupants sur la QAI et sur le confort intérieur.
- Classer les bâtiments par rapport à leur sensibilité aux vagues de chaleur.
- Evaluer les enjeux économiques liés aux comportements des occupants relativement à la QAI et au confort thermique.

Objectifs Opérationnels

- Indicateurs pertinents pour l'analyse de la sensibilité des bâtiments aux vagues de chaleur et à la pollution extérieure, non seulement utiles pour la conception mais aussi pour l'analyse d'un parc bâti.
- Recommandations sur les priorités de réhabilitation selon les types des bâtiments et leur environnement proche.
- Recommandations destinées aux occupants, pour réduire leur exposition à la chaleur et à la pollution de l'air, ciblées selon le type de bâtiments et d'environnement qu'ils occupent

CREATIV

Organisation du projet

■ Tâche 1 : Occupants / Confort et QAI

prise en compte des occupants en thermique du bâtiment et en sociologie de l'énergie / élaboration d'un profil habitant
Caractérisation et typologie des habitants au regard du confort thermique et de la QAI
Détermination des Indicateurs : confort, qualité de l'air.

■ Tâche 2 : Typologie de bâtiment

Bibliographie des paramètres du bâti qui influent sur le Confort thermique et la Qualité d'air Intérieur
Elaboration de typologie de bâtiment sur la base des critères qui influence le Confort Thermique et la Qualité d'air Intérieur / sur la base de la typologie TABULA complétée par des critères alimentés par d'autres typologies complémentaires ou biblio

■ Tâche 3 : Typologies d'environnement relativement à qualité de l'air extérieur et l'ICU

Qualifier les environnements urbains, dont ceux des sites pilotes en regard de l'QAE et de l'ICU
Identification et analyse des données expérimentales existantes de l'environnement local construire la typologie d'environnements relativement à la surchauffe urbaine et à la QAE

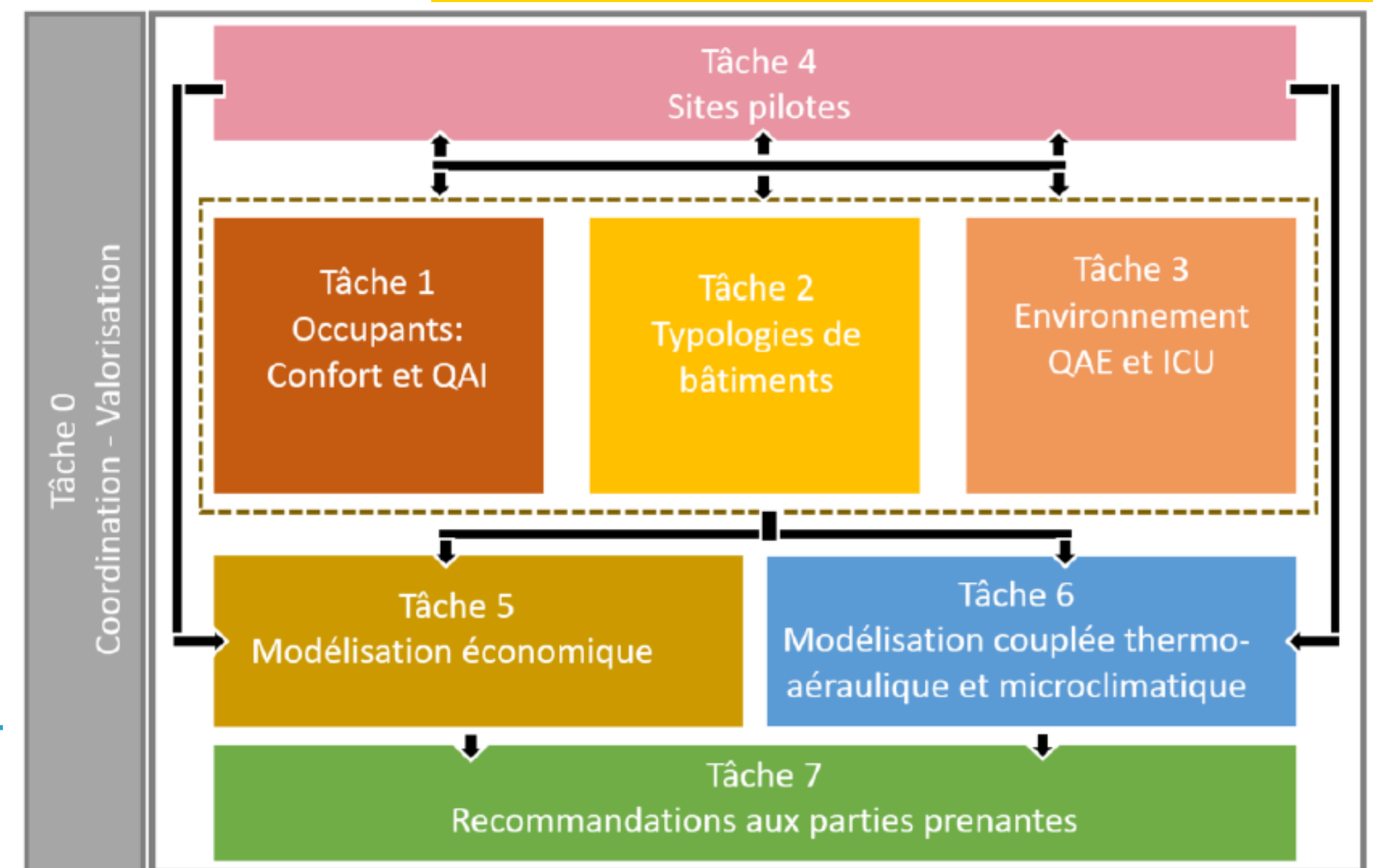


Figure 2: Organisation des tâches scientifiques du projet CREATIV

CREATIV

Organisation du projet

■ Tâche 4 : Sites pilotes

Instrumentation et suivi de 3 sites pilotes sur 2 saisons estivales

■ Tâche 5 : Modélisation économique

Analyse des comportements individuels face à la problématique conjointe des vagues de chaleur et de pollution intérieure de l'air, par la réalisation d'un modèle multi-agents

La modélisation multi-agents permet de prendre en compte le fait que les individus agissent généralement en fonction d'un niveau de connaissance plus ou moins imparfait par rapport aux conséquences de leurs propres actions.

Le modèle multi-agents intégrera les arbitrages que les individus devront réaliser entre différentes contraintes de ressources en lien avec le confort thermique et la qualité de l'air

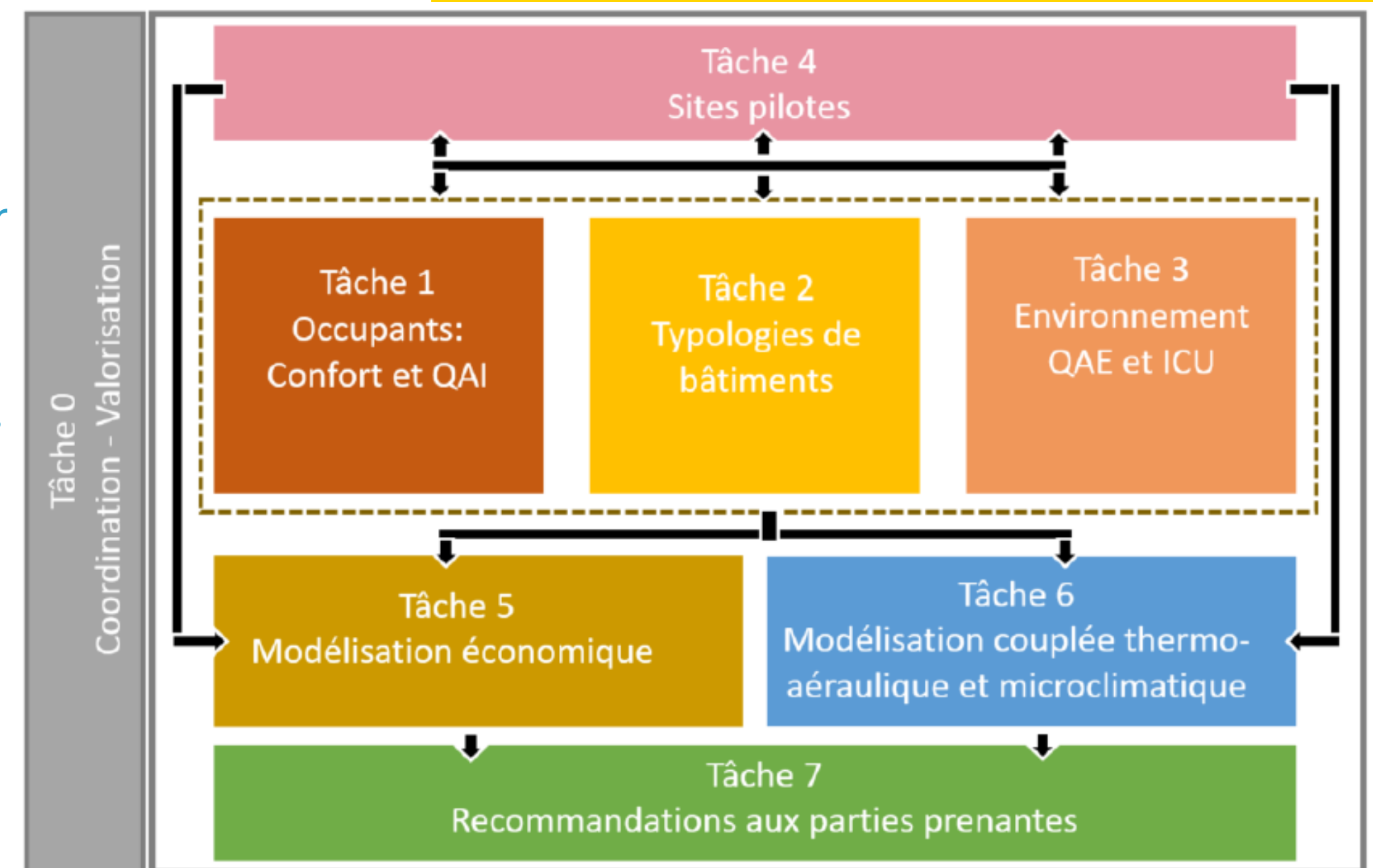


Figure 2: Organisation des tâches scientifiques du projet CREATIV

CREATIV

Organisation du projet

■ Tâche 6 : Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

Développement d'une modélisation intégrée de l'occupation, des transferts d'air et des polluants, des ICU et du confort thermique
Utilisation du modèle global intégré pour mener des analyses de sensibilité pour identifier les bâtiments, l'environnement, les systèmes de ventilation et le type d'occupation les plus vulnérables vis-à-vis des vagues de chaleur et des pollutions extérieures.

■ Tâche 7 : Recommandations aux parties prenantes

Réalisation de fiche préconisation

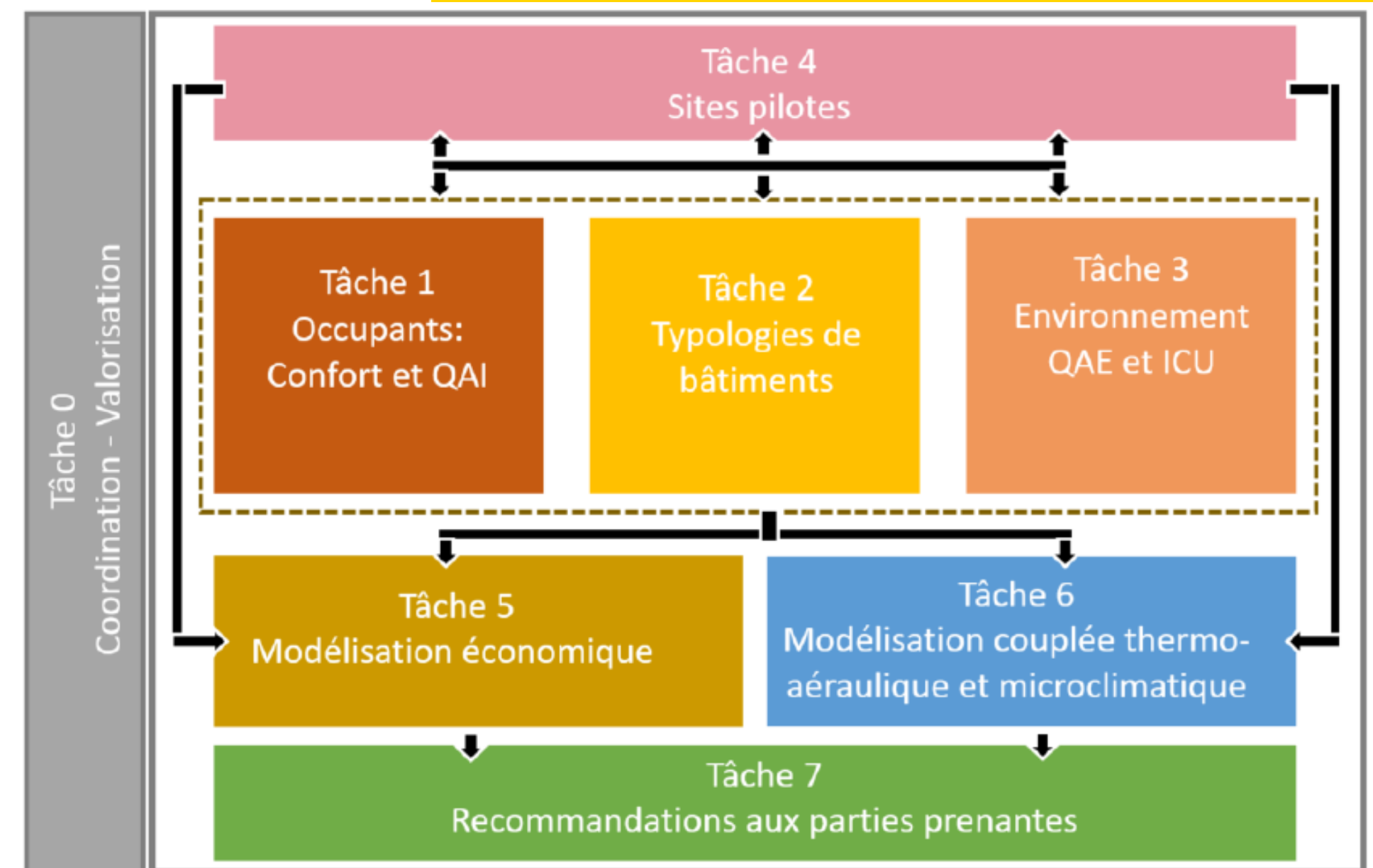


Figure 2: Organisation des tâches scientifiques du projet CREATIV

CREATIV

Les sites pilotes

Site de Gorge de Loup (Lyon)



- **2 bâtiments partiellement instrumentés (Alliade Habitat)**
 - Adresse : Lyon
 - Bâtiments de logements collectifs R+5
 - Année de construction : 1955
 - Année de rénovation : 2017
 - Nombre de logements : 71
 - Façades : isolation thermique par l'extérieur
 - Menuiseries : double vitrage
 - Protection solaire : BSO et stores manuels
 - Ventilation : **VMC simple flux auto, hygro A/B, et basse pression**
 - Chauffage : collectif avec radiateurs

Site de Clermont-Ferrand



- **Maison individuelle (propriété privée)**
 - Adresse : Clermont-Ferrand
 - Maison plain-pied sur vide sanitaire, avec combles perdus
 - Année de construction : 1998-1999
 - Année de rénovation : aucune
 - Surface : 110 m²
 - Façades : parpaing + 10 cm LDV (ITI)
 - Menuiseries : double vitrage, menuiserie PVC
 - Protection solaire : volets roulants PVC (manuels?)
 - Ventilation : **VMC simple flux auto**
 - Chauffage : chaudière gaz à condensation avec plancher chauffant et radiateurs

Site du Perray (Nantes)



7 bâtiments dont un déjà instrumenté (Nantes Métropole Habitat)

- Bâtiments de logements collectifs R+4
- Année de construction : Années 70
- Année de rénovation : 1993 bardage, 2007 chaudière pour chauffage
- Nombre de logements : 24 (5/étage et 4 au RDC)
- Façades : béton + bardage (isolation?)
- Menuiseries : PVC DV
- Protection solaire : volets roulants manuels
- Ventilation : **VMC simple flux auto**
- Chauffage : collectif avec planchers chauffants



CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

1^{ère} campagne de mesure - 2022

- Période : juin à septembre 2022 (4 mois)
- Logements instrumentés : 4 logements :
 - 3 appartements dans un immeuble collectif rénové (Lyon, années 1950, rénové en 2017)
 - 1 maison individuelle de plain-pied (Clermont-Ferrand, construite en 1998)

Protocole Expérimental

■ Instrumentation de l'environnement intérieur

Pièces principales : le salon et la chambre principale

- Paramètres hygrothermiques : T, HR
- Paramètres QAI : CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, COVt

Pièces de service : cuisine et SdB

- Paramètres hygrothermiques : T, HR

Fenêtres : Capteurs d'ouverture/fermeture de toutes les fenêtres extérieures

Portes intérieures : Capteurs d'ouverture/fermeture des portes intérieures des portes principales

■ Comportement des occupants :

- Questionnaire sur le ressenti général et comportement vis-à-vis de la gestion du confort thermique et de la qualité d'air intérieur en été
- Carnet de bord spécifique au suivi du comportement sur une semaine de forte chaleur (Présence, gestion des fenêtres, des portes, des protections solaires, des ouvrants, éclairage artificiel, émission de chaleur/vapeur/polluants : douches, cuisson, nettoyage..), relevé des équipements spécifiques

■ Instrumentation de l'environnement extérieurs instrumentés

Paramètre hygrothermique : T et HR, dehors et dans les loggias

Vent : vitesse et direction du vent relevés sur une station à proximité

Polluants : PM₁₀, PM_{2.5}, COVI (balises Nemo extérieur)

CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Identifiant	Logement A	Logement B	Logement C
Ville	Lyon	Lyon	Lyon
Type de logement	Immeuble collectif	Immeuble collectif	Immeuble collectif
Surface habitable	65 m ²	65 m ²	76 m ²
Nombre de pièces	3	3	4
Position du logement	Étage intermédiaire	Étage intermédiaire	Dernier étage
Orientation	Séjour : Est Chambre : Ouest	Séjour : Est Chambre : Ouest	Séjour : Sud & Est Chambre : Ouest
Occupation	1 femme (retraîtée)	2 femmes (enfant et adulte active)	1 femme (retraîtée)
Équipements de confort thermique	1 ventilateur acheté pendant l'été (non instrumenté)	2 ventilateurs et 1 climatiseur mobile	-
Début des mesures	07/07/2022	17/06/2022	16/06/2022
Fin des mesures	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022
Périodes d'absence	-	08-19/07/2022	10-27/08/2022



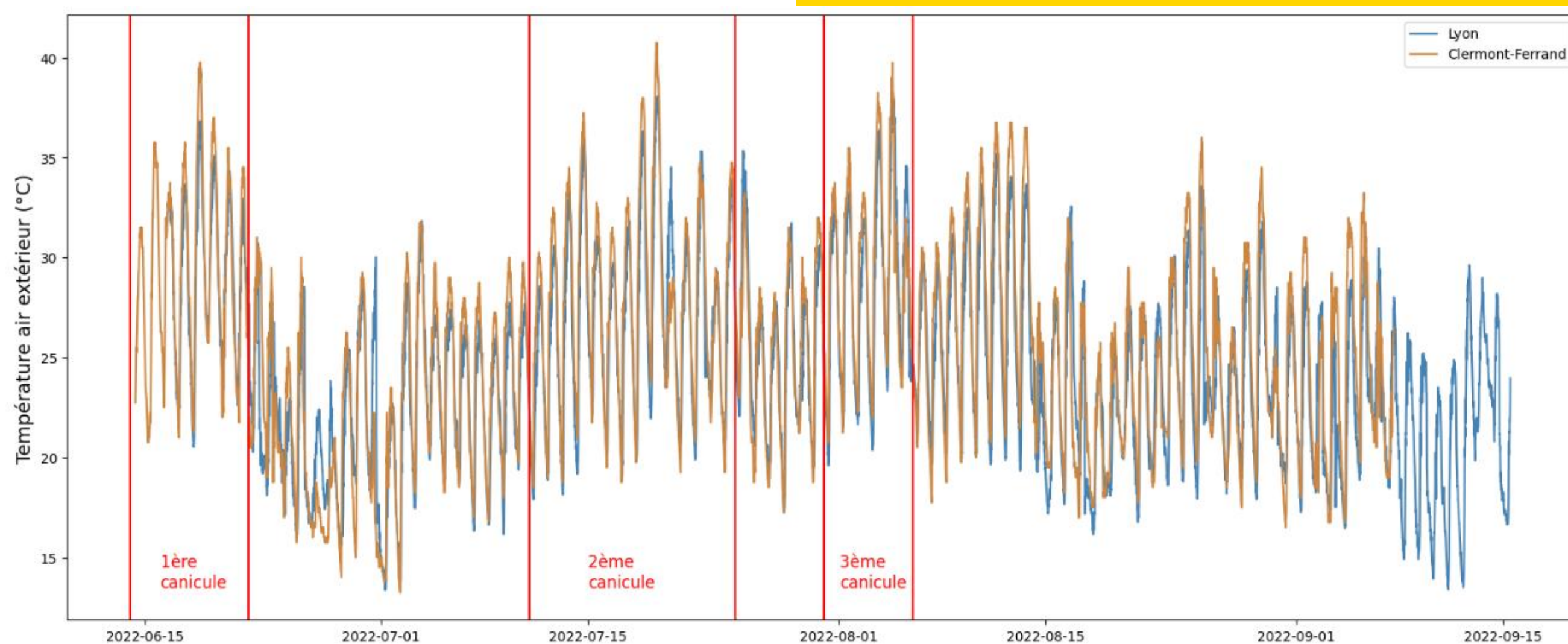
CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Températures extérieures mesurées à Lyon et Clermont-Ferrand durant l'été 2022

- Évolution des températures :
 - Températures entre 15°C et 40°C
 - Moyenne d'environ 25°C
- Trois épisodes caniculaires identifiés par Santé Publique France (juin, juillet, août)
- Pendant les canicules :
 - Températures minimales > 20°C
 - Températures maximales entre 30°C et 40°C
- Été 2022 caractérisé par des conditions exceptionnellement chaudes



Département	1ère canicule	2ème canicule	3ème canicule
Rhône (69)	15/06 au 22/06 ●	12/07 au 26/07 ●	31/07 au 05/08 ● + 06/08 au 13/08 ●
Puy-de-Dôme (63)	15/06 au 22/06 ●	12/07 au 26/07 ●	31/07 au 05/08 ●

CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

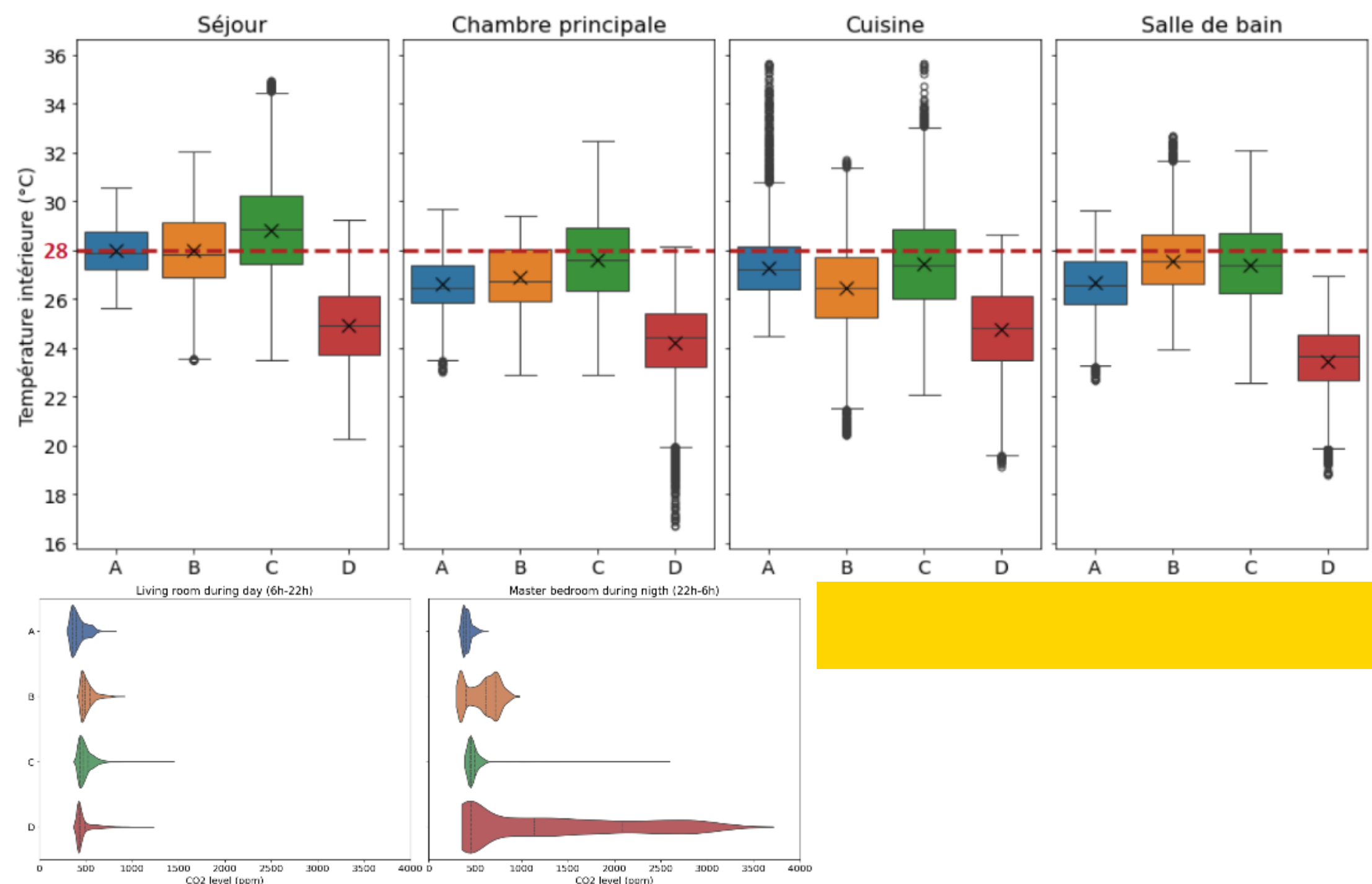
Résultats mesures à Lyon durant l'été 2022

Mesure de température

- Températures > 28°C au moins 44 % du temps dans le salon
- Jusqu'à 63 % du temps > 28°C dans le logement C (dernier étage, triple exposition)

Qualité de l'air intérieur et humidité

- Humidité relative comprise entre 30 % et 70 % dans toutes les pièces instrumentées
 - Dépassements < 9 % du temps
- Taux de CO₂ < 1000 ppm
- Logement C : le plus chaud et le plus pollué :
 - Seul logement avec des PM_{2.5} journaliers moyens > 25 µg/m³ dans les deux pièces suivies
 - Concentrations moyennes de COV légers les plus élevées :
 - Jusqu'à 771 ppb dans le séjour
 - Et 308 ppb dans la chambre principale
- Présence de travaux de peinture pendant la période de mesure dans le logement C
 - Peut expliquer en partie les niveaux élevés de COV

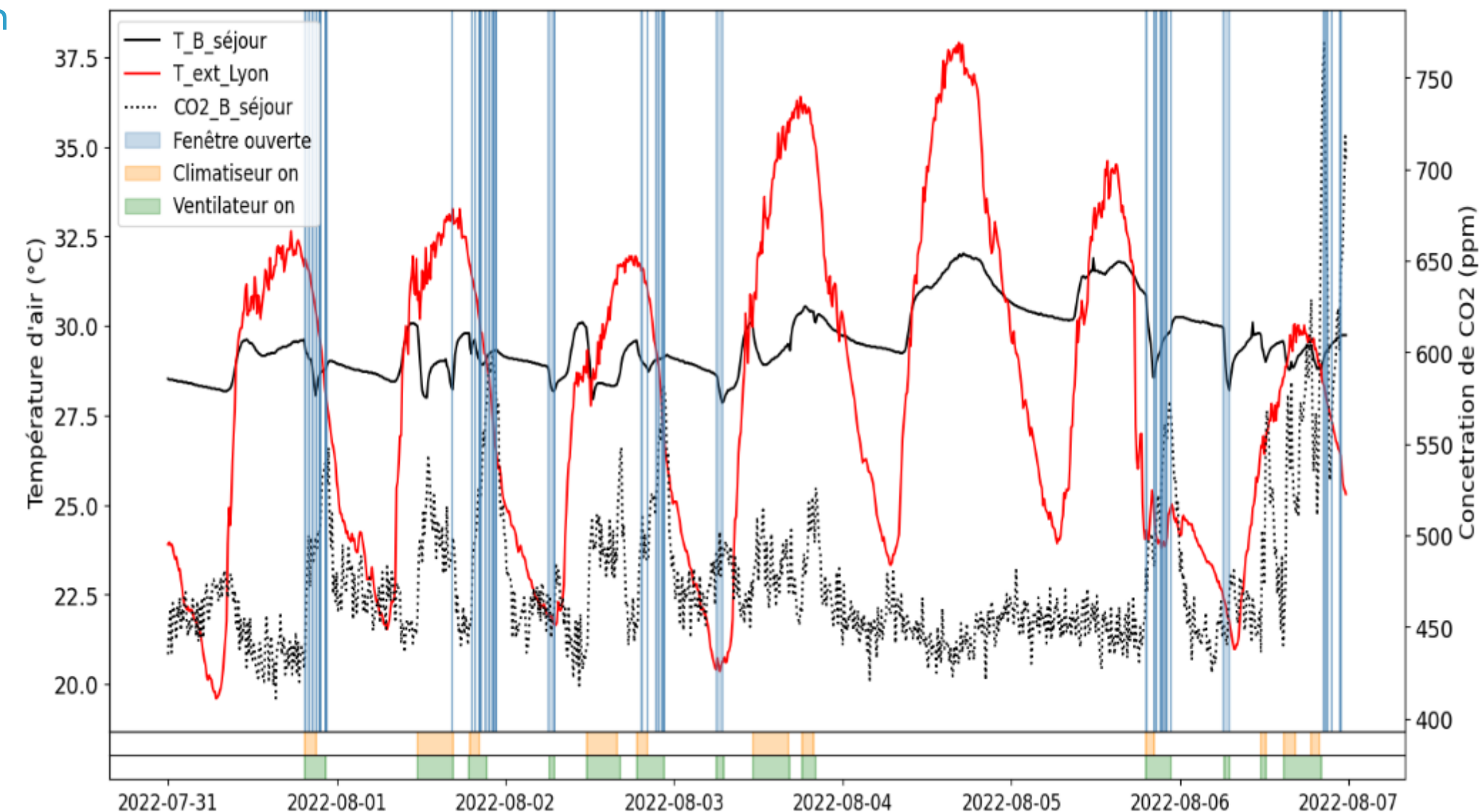


Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Comportement adaptatif du ménage B pendant l'été (3^{ème} étage, traversant Est-Ouest)

- Équipements disponibles : 1 climatiseur mobile, 2 ventilateurs déplacés selon les pièces occupées
- Stratégies de régulation thermique :
 - ✓ Fenêtre du séjour ouverte principalement le soir (ouvertures courtes et fréquentes)
 - ✓ Ventilateur activé le matin (fenêtre ouverte), et déplacé la nuit dans la chambre
 - ✓ Climatisation utilisée l'après-midi et le soir pendant la présence des occupants
- Corrélation équipements / ouvrants :
 - ✓ Fenêtre fermée dans 93 % des cas quand le ventilateur est actif
 - ✓ Fenêtre fermée dans 99 % des cas quand la climatisation est en marche
 - ✓ Absence de deux jours → forte élévation de la température intérieure
- Perception et ressentis :
 - ✓ Inconfort thermique jugé insupportable dans la chambre pendant les canicules
 - ✓ Limites d'action : bruit extérieur, sentiment d'impuissance face à la chaleur
 - ✓ Stratégie d'évitement : départ du logement lors des pics d'inconfort





CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Comportement adaptatif du ménage A (1^{er} étage, traversant Est-Ouest)

- Stratégies de régulation thermique :
 - ✓ Fenêtres ouvertes pour aération et par habitude
 - ✓ Volets fermés contre chaleur et éblouissement
- Actions limitées par insécurité (peur de l'intrusion)
- Environnement perçu comme :
 - ✓ Très chaud dans toutes les pièces
 - ✓ Chaud la nuit / extrêmement chaud le jour en canicule
- Multiples stratégies adaptatives:
 - ✓ Aération nocturne, volets baissés le jour
 - ✓ Ventilateur, vêtements légers, boissons fraîches
 - ✓ Brumisateur, douche le soir

Comportement adaptatif du ménage C (Dernier étage, triple orientation S/O/E)

- Stratégies de régulation thermique :
 - ✓ Fenêtres ouvertes pour aérer, contre la chaleur, les odeurs, l'humidité
 - ✓ Limitations : bruit, poussière, courants d'air
 - ✓ Volets utilisés pour protection solaire mais aussi pour lumière naturelle
 - ✓ Pas d'équipements actifs (ventilateur, climatisation)
→ contraintes économiques
- Ressenti thermique:
 - ✓ Acceptable la nuit, insupportable le jour en canicule
 - ✓ Qualité de l'air jugée parfois inacceptable
- Stratégie d'évitement :
 - ✓ quitte le logement plusieurs jours en cas de forte chaleur

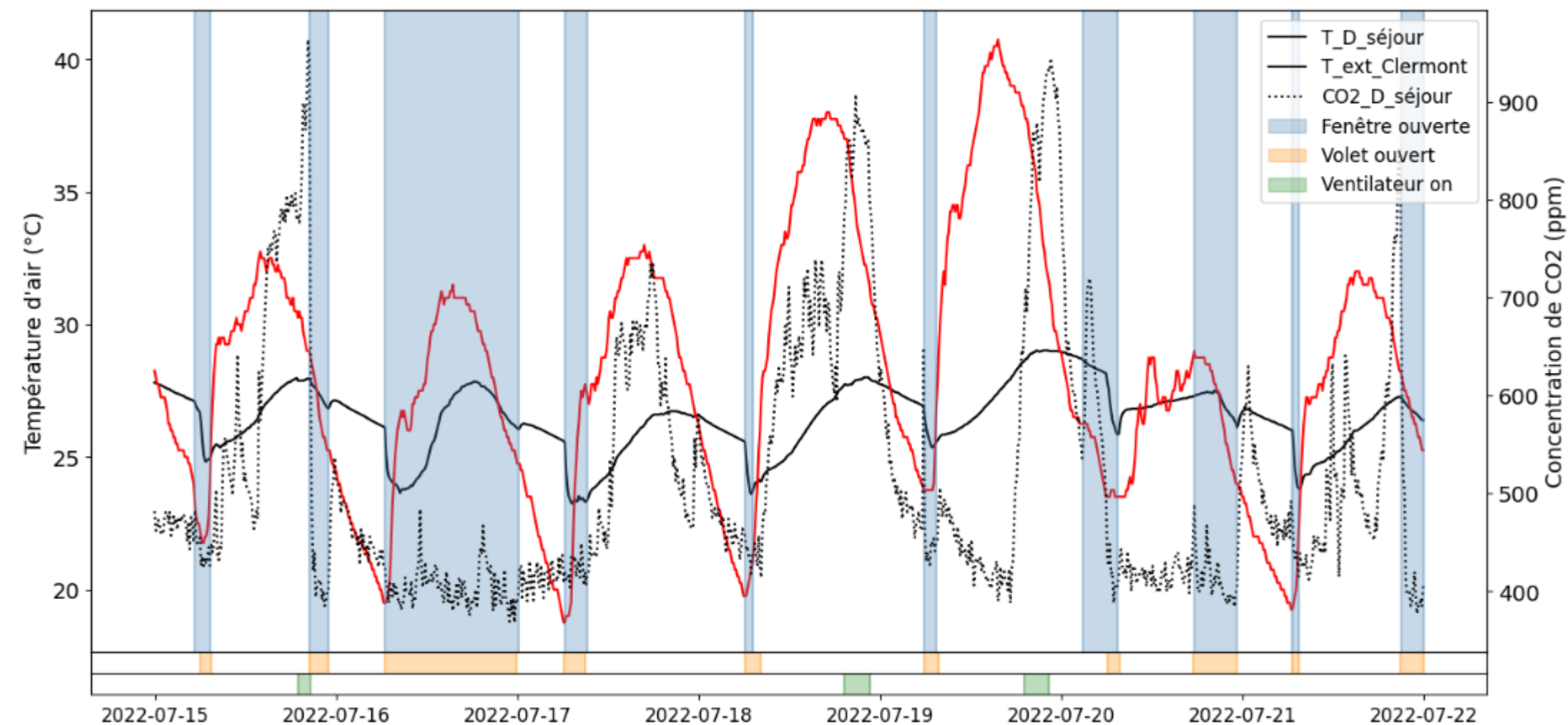
Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Comportement adaptatif du ménage D pendant l'été
Résultats : perception & comportements des ménages

Seul ménage ayant rempli le carnet de bord → données détaillées sur les volets

- Équipements : 1 ventilateur (installé dans le séjour), peu utilisé
- Stratégies d'aération :
 - ✓ Fenêtres ouvertes chaque matin, dans toutes les pièces, pendant la majorité de l'été
 - ✓ Fenêtres souvent ouvertes en même temps que les volets
 - ✓ Ouvertures régulières et plus ou moins longues
- Utilisation limitée du ventilateur :
 - ✓ Éteint 95,7 % du temps sur toute la période
 - ✓ Lorsqu'il est en marche, la fenêtre est fermée 65 % du temps
- Perception de l'environnement thermique :
 - ✓ Acceptable en été dans les pièces principales
 - ✓ Inacceptable pendant les canicules : très chaud dans le séjour/cuisine, chaud ailleurs
- Freins et ressentis :
 - ✓ Peurs d'intrusion limitant l'ouverture nocturne (maison de plain-pied)
 - ✓ Volets fermés par habitude, sécurité, protection contre chaleur et éblouissement
 - ✓ Mesures jugées utiles mais peu efficaces pendant les vagues de chaleur, notamment la nuit





CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Synthèse résultats campagne de mesure

Perception thermique et comportements pendant les canicules

Dans tous les logements de Lyon, l'environnement est perçu comme **extrêmement chaud** pendant les jours de canicule
Dans la maison à Clermont-Ferrand, le confort est meilleur en été, mais jugé **inacceptable** pendant les canicules, surtout la nuit

Stratégies communes observées chez tous les ménages :

- ✓ Réduction des apports internes (limitation des activités calorifiques)
- ✓ Ouverture des fenêtres quand la température extérieure baisse
- ✓ Fermeture des protections solaires durant les heures les plus chaudes

Autres comportements d'adaptation :

- ✓ Surventilation nocturne
- ✓ Utilisation de ventilateurs ou de climatiseur
- ✓ Évitement de certaines pièces
- ✓ Départ temporaire du logement ou confinement volontaire
- ✓ Réduction de l'activité physique
- ✓ Ajustement des vêtements

Résultats des indicateurs de qualité d'air intérieur (QAI)

Humidité relative :

Toujours **inférieure à 70 %** dans toutes les pièces et tous les logements

CO₂ :

Bonnes performances dans les 3 appartements lyonnais
Exposition **élevée** dans la chambre du logement D (maison)
→ Deux occupants, **fenêtre et porte fermées la nuit**

PM2.5 :

Expositions **cumulées très faibles** dans tous les logements

→ Globalement, la qualité d'air intérieur est satisfaisante



CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Synthèse résultats campagne de mesure

Tableau 6 : Résultats des indicateurs de confort thermique dans les pièces principales des quatre logements instrumentés

	Répartition température Tair (°C) <i>sur les 24h voir Box plot comparatifs</i>			Nb d'heures d'inconfort selon Givoni <i>en occupation théorique</i>				Confort adaptatif selon la norme EN 16798-1 <i>en occupation théorique (diagramme aussi en occupation) (sur Tair et non Top)</i>		DH RE2020 <i>en occupation théorique</i>		Nb d'heures > 26°C <i>hors et en occupation</i>			
Plogement	Max	Moy	Min	0 m/s	1 m/s	DH (0 m/s)	DH (1m/s)	cat II	DH (cat II)	Nombre d'heures d'inconfort 26/28	DH 26/28	Nb jours équivalent total 26°C	Nb heures total 26°C	Nb max jours consécutifs 26°C	Nb max heures consécutives 26°C
Logement D (MI Clermont-Ferrand) du 14 juin au 27 septembre 2022 (2526 heures au total)															
EXT	40,8	25,7	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEJ	29,2	24,9	20,3	205	0	133	0	0	0	34	14	29	694	4	91
CH4	28,2	24,2	16,7	102	0	17	0	0	0	205	156	15	371	3	62
Logement A (LC Lyon R1) du 7 juillet au 15 septembre 2022 (1682 heures au total)															
EXT	38,1	24,5	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEJ	30,6	28,0	25,6	899	25	1126	4	0	0	1 043	1 750	69	1 666	64	1 532
CH1	29,7	26,6	23,0	208	0	185	0	0	0	869	820	48	1 160	4	94
Logement B (LC Lyon R3) du 17 juin au 15 septembre 2022 (2159 heures au total)															
EXT	38,1	24,5	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEJ	32,0	28,0	23,5	1037	132	1629	78	0	0	1 250	2 375	83	1 998	43	1 034
CH1	29,4	26,9	22,9	401	0	460	0	0	0	1 160	1 618	64	1 543	19	456
Logement C (LC Lyon R5) du 16 juin au 15 septembre 2022 (2180 heures au total)															
EXT	38,1	24,5	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEJ	34,9	28,8	23,5	1171	428	2915	491	0	0	1 280	3 745	85	2 037	34	821
CH1	32,5	27,6	22,9	498	33	690	13	0	0	1 244	2 241	73	1 758	30	721



CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Synthèse résultats campagne de mesure

Résultats des indicateurs de confort thermique

Été 2022 marqué par trois vagues de chaleur (juin, juillet, août)

Appartements lyonnais (A, B, C) :

- Température > 27°C pendant près de 50 % du temps dans les pièces principales
- Médianes entre 26,5°C et 28,9°C, pics jusqu'à 35°C

Maison individuelle à Clermont-Ferrand (D) :

- Médiane ≈ 25°C, maxima < 30°C
- Meilleur confort thermique grâce à comportements actifs des occupants :
 - ✓ Ouverture matinale des fenêtres, fermeture des volets, adaptation fine

Méthode adaptative EN 16798-1 :

- Ne détecte presque jamais l'inconfort, contrairement aux autres indicateurs
- Remise en question de sa pertinence pour le contexte résidentiel français



CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Campagne de mesures in situ – Été 2023

Pourquoi une 2^{ème} campagne de mesure ?

- Problèmes rencontrés l'été précédent :
 - ✓ Peu de réponses
 - ✓ Trop restrictif
- Adaptation de la méthodologie
- Focus confort thermique
- Métropole de Lyon
- 8 logements
- Juillet à septembre 2023
- Enquêtes :
 - ✓ Questionnaires de confort thermiques
 - ✓ Entretien semi-directifs
- Mesures in-situ

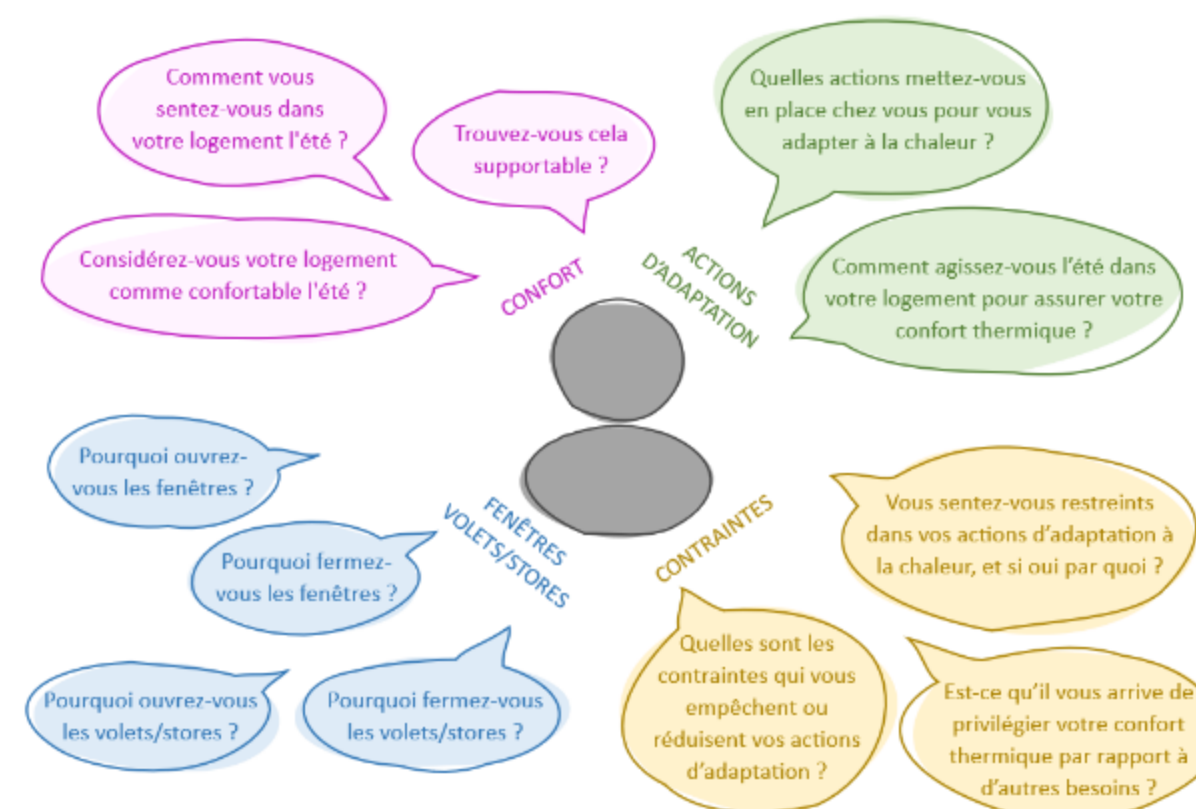
CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Campagne de mesures in situ – Été 2023 – Protocole expérimental

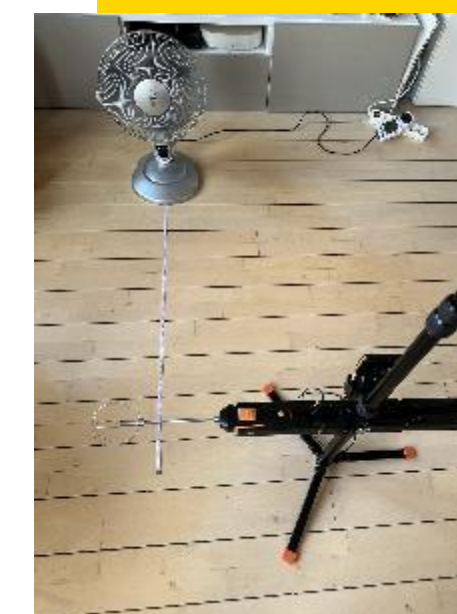
- Campagne de mesures dans 8 logements sur la métropole de Lyon pendant 1 à 2 semaines
- Mesures continues
 - ✓ T_a + HR, T_{globe} , CO_2
 - ✓ Fenêtres + ventilateurs
- Mesures ponctuelles :
 - ✓ Vitesse de l'air
- Questionnaires en ligne de confort thermique
- Enquêtes semi-directives



Comment vous sentez-vous à ce moment précis ? *



☐ Extrêmement froid
☐ Très froid
☐ Froid
☐ Légèrement froid
☐ Ni chaud ni froid
☐ Légèrement chaud
☐ Chaud
☐ Très chaud
☐ Extrêmement chaud



Mesures ponctuelles de vitesses d'air



Utilisation des ventilateurs



Utilisation des fenêtres



Mât installé dans les pièces principales



CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

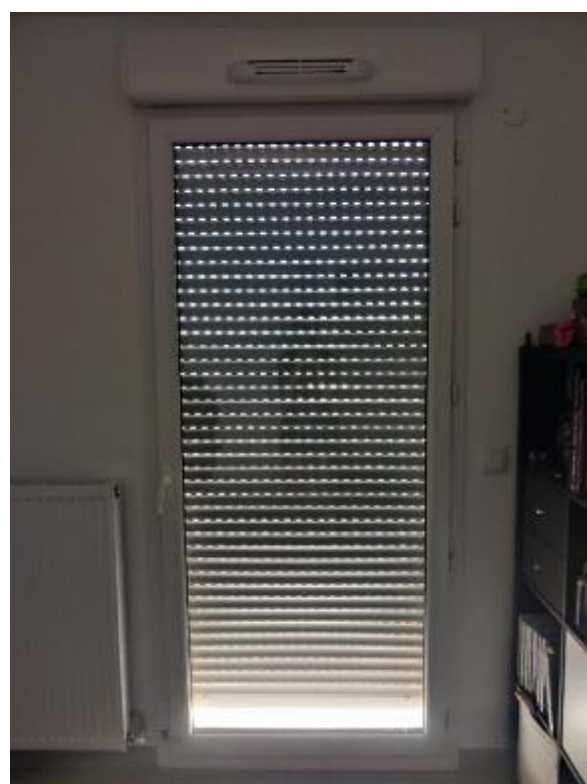
Campagne de mesures in situ – Été 2023 – Résultats : adaptation à la chaleur

Actions d'adaptation à la chaleur des ménages enquêtés dans leur logement

Actions d'adaptation		Numéro de logement							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Équipements	Rafrâichissement nocturne	X	X	X		X	X	X	X
	Ouverture des fenêtres selon la température extérieure	X	X	X	X	X	X	X	X
	Fermeture des protections solaires	X	X	X	X	X	X	X	X
	Limitation de l'usage d'appareils calorifiques	X	X		X	X	X	X	X
	Climatiseur		X				X		
Actions personnelles	Ventilateur	X	X	X	X	X	X	X	
	Ajustement de vêtements			X	X	X	X	X	X
	Douche ou brumisateurs	X		X	X	X	X	X	X
	Départ du logement	X	X		X	X	X	X	X
	Confinement dans le logement		X		X	X	X	X	X
Autre(s) solution(s)		X	X	X			X	X	

CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup



Photographies des équipements d'adaptation des logements enquêtés

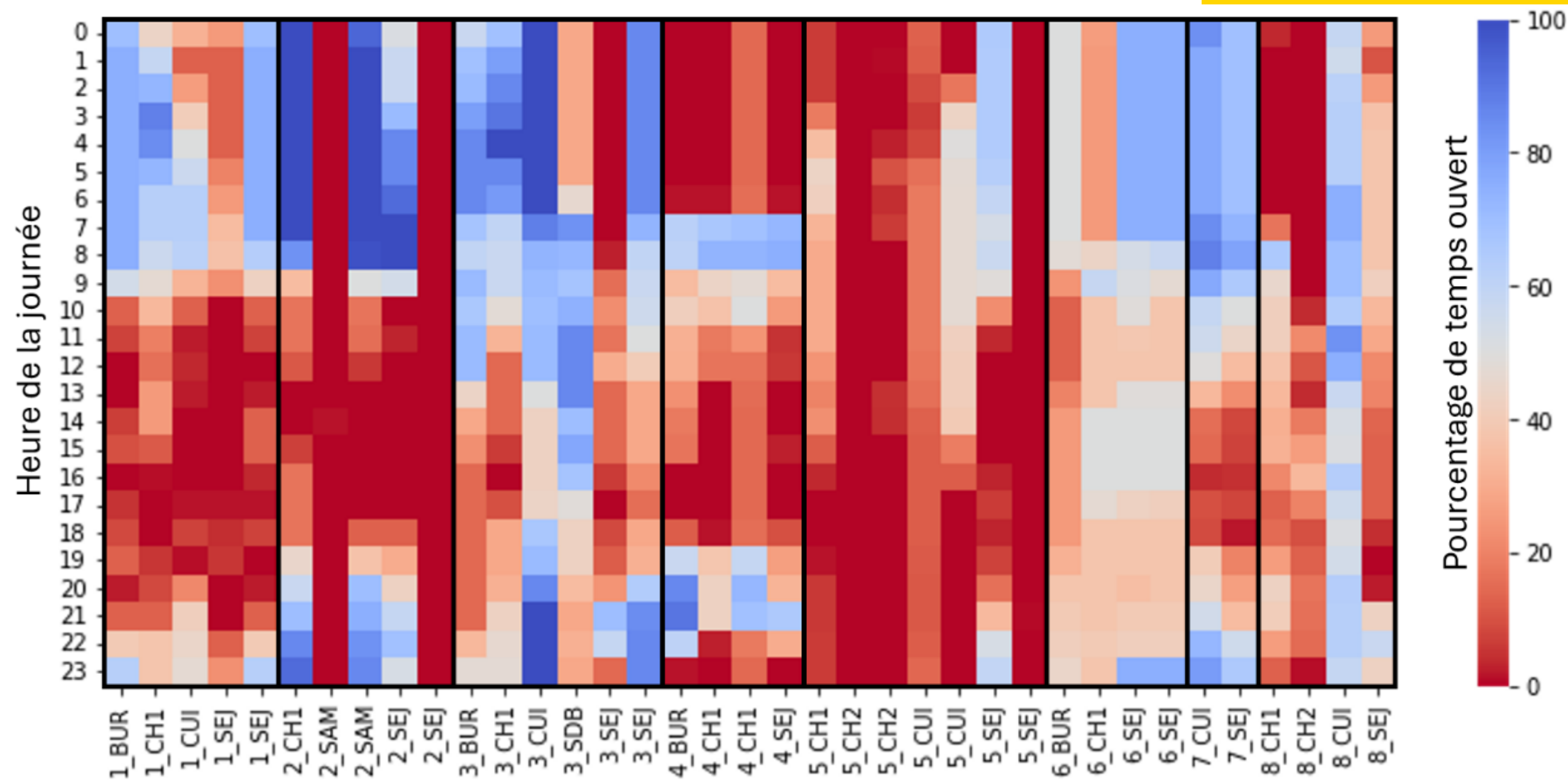


CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Campagne de mesures in situ – Été 2023 – Résultats : adaptation à la chaleur

Fréquence d'ouverture des fenêtres instrumentées en fonction de l'heure de la journée



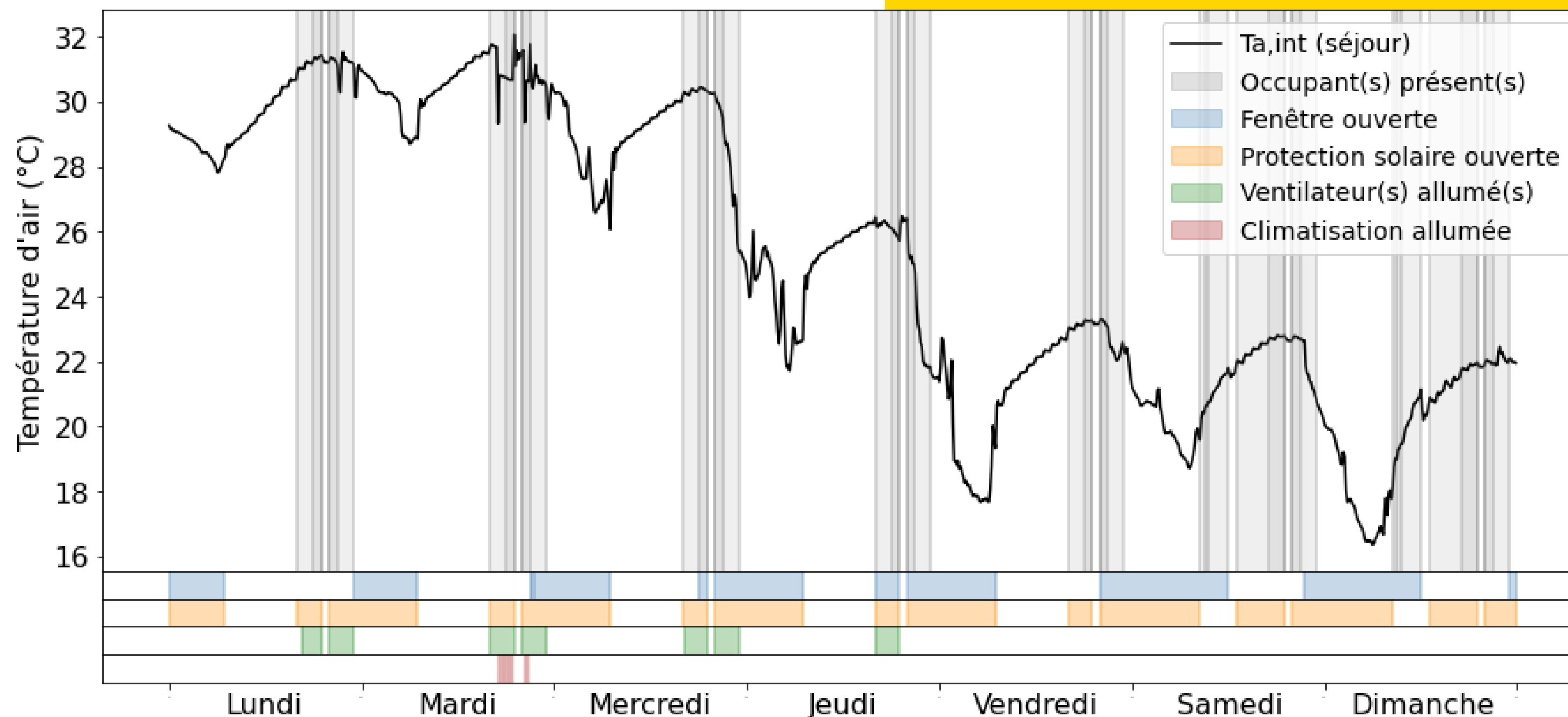


CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Évolution de la température d'air intérieure du séjour avec représentation des actions d'adaptation pour un logement sans contrainte durant une semaine (IPSL/RCA4 2070-2099 du 25 juin au 2 juillet minuit)





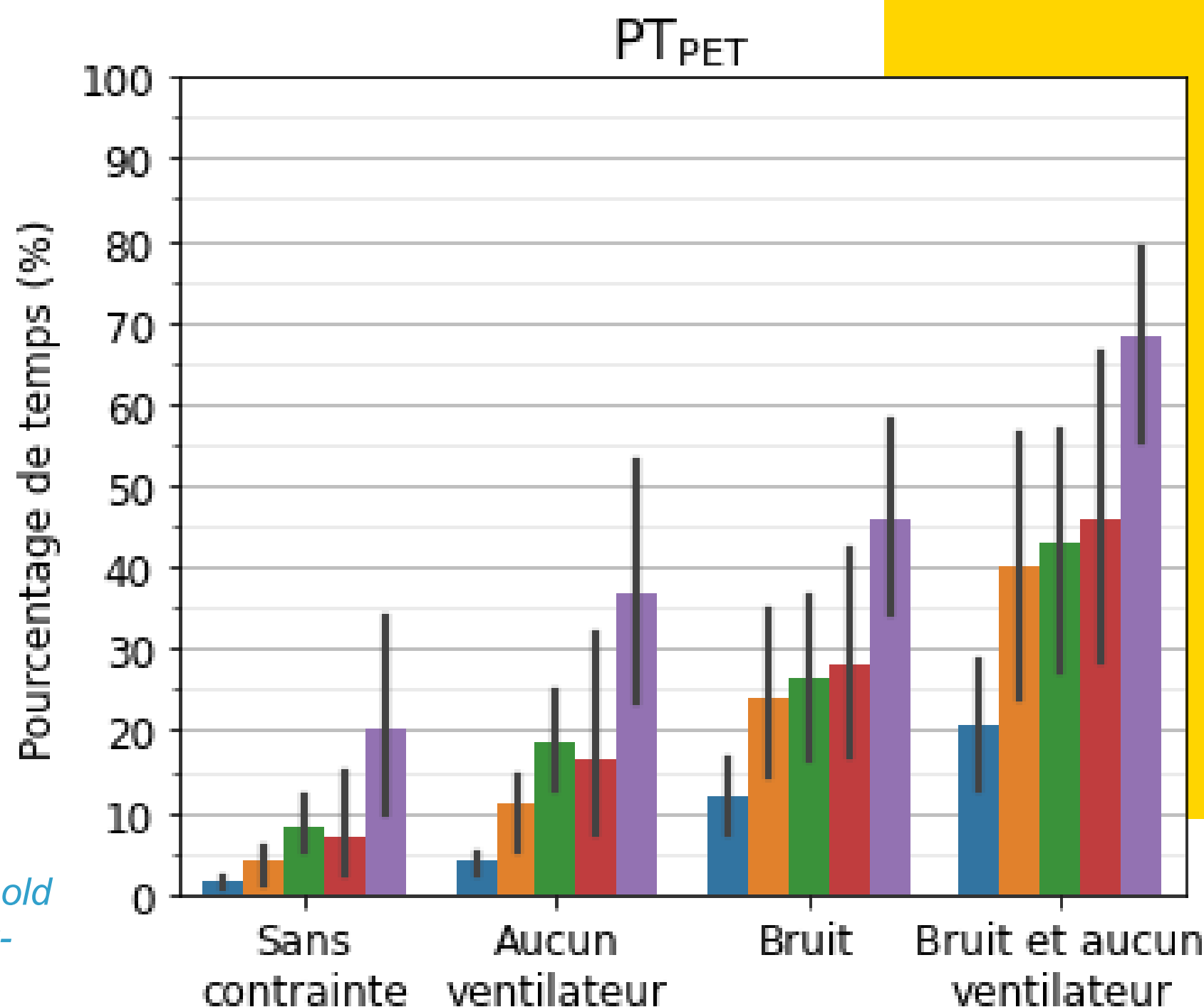
CREATIV

Tâche 4 – Suivi des logements

Logements collectifs – cas de Lyon Gorge de Loup

Modèle multi-agent MOBAPY

- Modélisation du comportement adaptatif des occupants en été
- Test du couplage avec une modélisation thermo-aéraulique pour évaluer les stratégies passives de rafraichissement



Indicateur de confort d'été d'un logement non climatisé sous plusieurs hypothèses comportementales pour différentes hypothèses climatiques futures

Expérience	
■	1976-2005 Historical
■	2035-2064 RCP 4.5
■	2035-2064 RCP 8.5
■	2070-2099 RCP 4.5
■	2070-2099 RCP 8.5



CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

1^{ère} enquête

- Du 29 octobre 2024 et le 16 décembre 2024
- 1 072 personnes, échantillon représentatif en termes d'âge, de genre, de PCS et de type de logement
- Réalisée au niveau des unités urbaines de plus de 100 000 habitants en France Métropolitaine hors Corse.
- Basée sur leurs comportements effectifs (déclarés) dans leur logement actuel

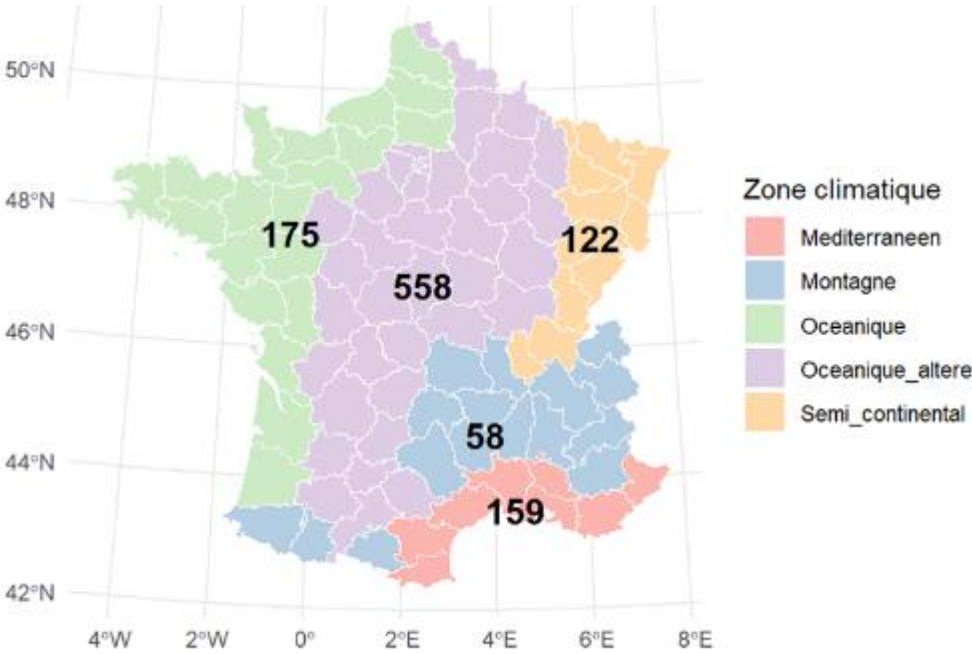
2^{ème} enquête

- du 17 janvier 2025 au 12 mai 2025
- 4 262 répondants, échantillon représentatif en termes d'âge, de genre, de PCS
- Sur l'ensemble de la population française métropolitaine hors Corse toutes zones urbaines confondues
- La répartition des habitations en termes d'unité urbaine est proche de celles fournie par l'Insee avec par contre, une surreprésentation des maisons (+ 4 points / Insee).
- Basée sur leurs comportements effectifs (déclarés) dans un logement hypothétique standardisé



CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques



Enquête 1 - Températures déclarées par les répondants

Zone climatique	Température idéale Journée		Température max supportée - Journée		Température idéale Nuit		Température max supportée - Nuit	
	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.
Océanique	21,4	21,0	26,2	25,0	20,2	20,0	24,8	25,0
Océanique altéré	22,1	22,0	27,5	27,0	21,1	21,0	25,8	25,0
Semi-continental	22,3	22,0	27,3	27,0	21,0	20,0	25,6	25,0
Montagne	22,4	22,0	27,8	27,0	21,1	21,5	26,4	25,5
Méditerranéen	22,8	23,0	27,8	28,0	22,0	22,0	26,3	26,0
Sur l'ensemble des zones climatiques	22,1	22,0	27,3	27,0	21,1	21,0	25,7	25,0

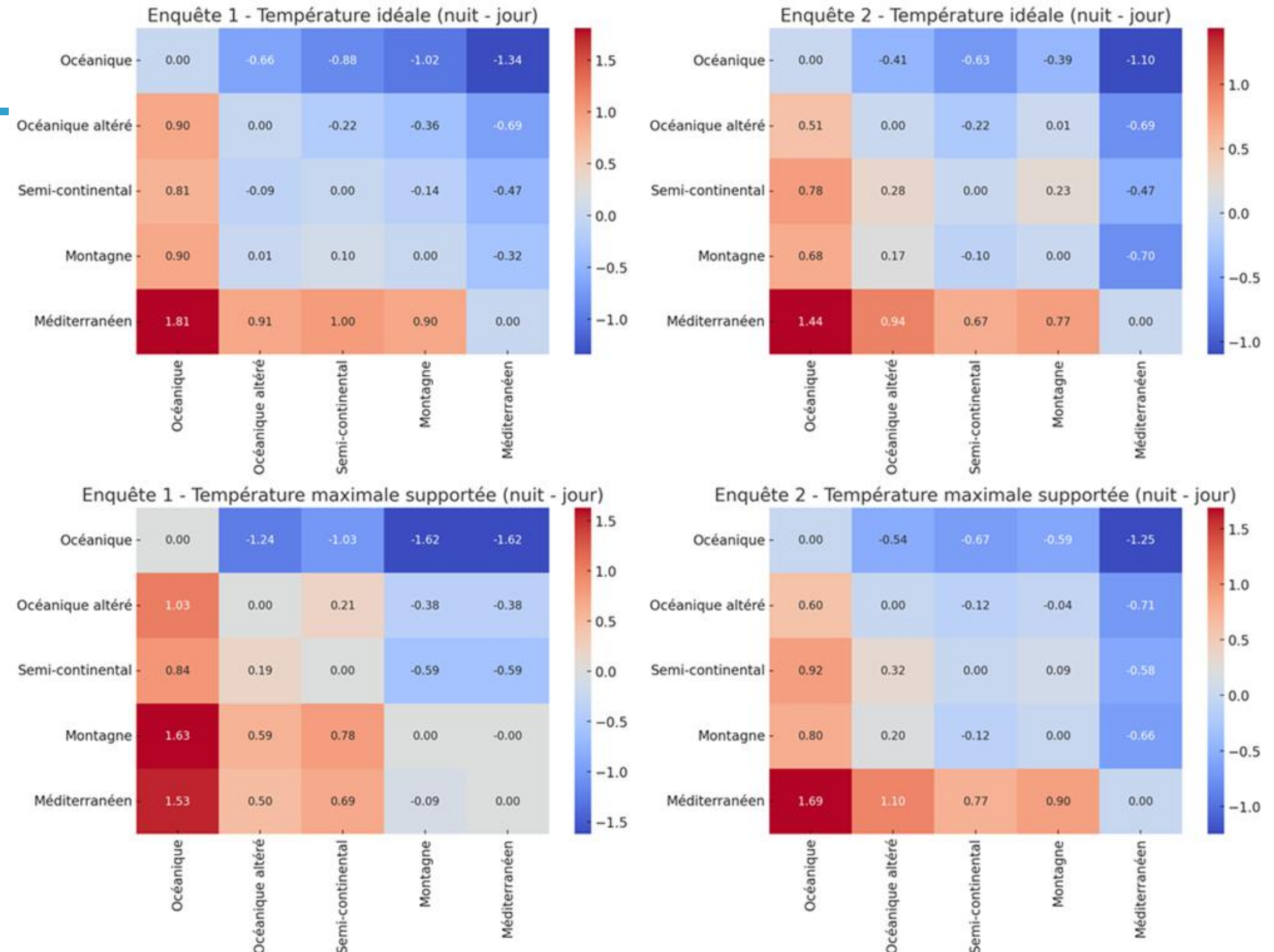
	Température idéale Journée		Température max supportée - Journée		Température idéale Nuit		Température max supportée - Nuit	
	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.
Enquête n°1 (Plus de 100000 habitants, TU_678)	22,1	22,0	27,3	27,0	21,1	21,0	25,7	25,0
Enquête n°2 (Plus de 100000 habitants)	21,7	21,0	27,6	27,0	20,5	20,0	25,4	25,0
Enquête n°2 (Moins de 100000 habitants, TU_0_5)	21,4	21,0	27,1	27,0	20,2	20,0	25,0	25,0



CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

Les différences de tolérance thermique restent également marquées selon la zone climatique, avec le climat Méditerranéen montrant systématiquement la plus grande tolérance. Les individus habitant dans des zones sous climat Océanique apparaissent également comme les moins tolérants à la chaleur dans les deux enquêtes.





CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

Tableau : Répartition en termes de bruit intérieur maximal supporté par les occupants

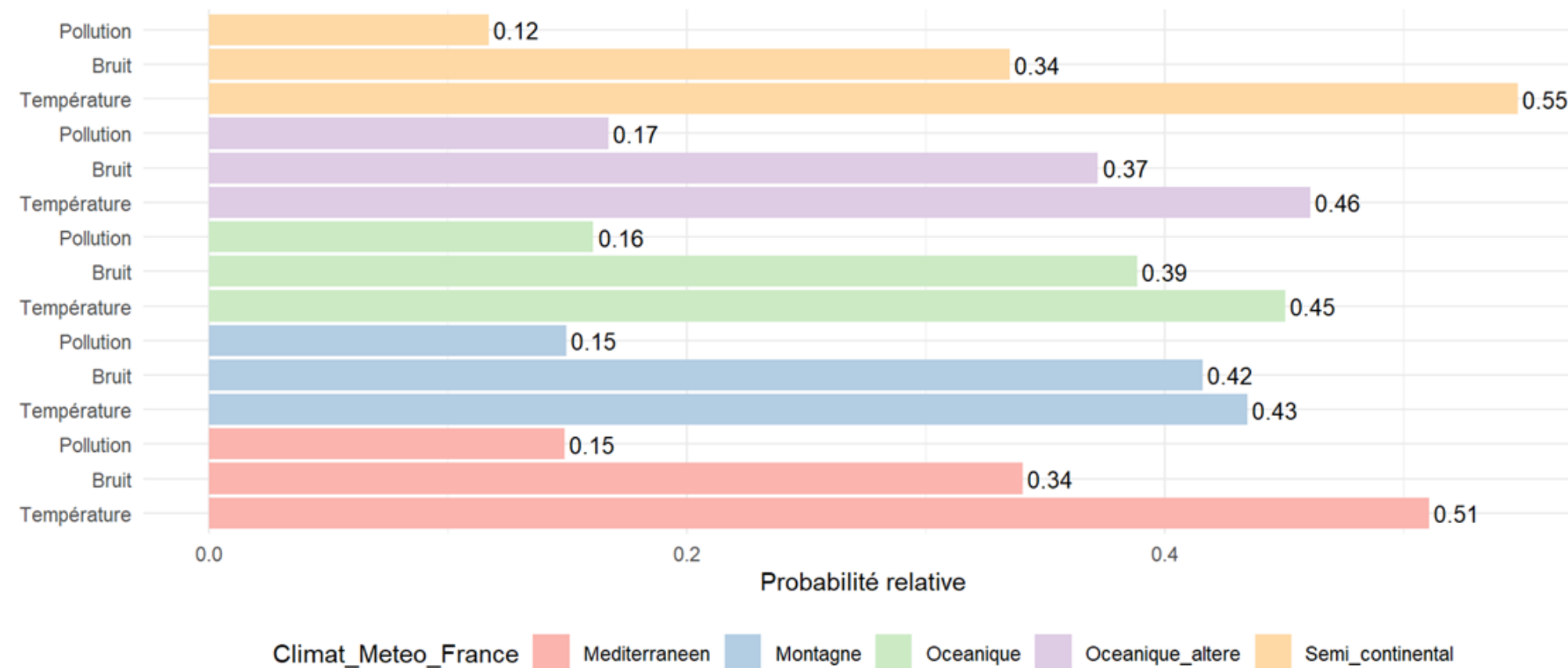
	Bruit intérieur maximal supporté (%)				Bruit intérieur maximal supporté (%)			
	Journée				Nuit			
	< 40 dB	40-65 dB	> 65 dB	NSP	<40 dB	40-65 dB	> 65 dB	NSP
Enquête n°1 (Plus de 100 000 habitants)	23,9	59,1	12,7	4,3	43,7	39,1	8,40	3,8
Enquête n°2 (Plus de 100 000 habitants)	22,4	59,1	14,4	4,1	29,5	54,0	12,9	3,6
Enquête n°2 (Moins de 100 000 habitants)	23,3	59,5	12,8	4,4	30,7	53,1	12,1	4,1



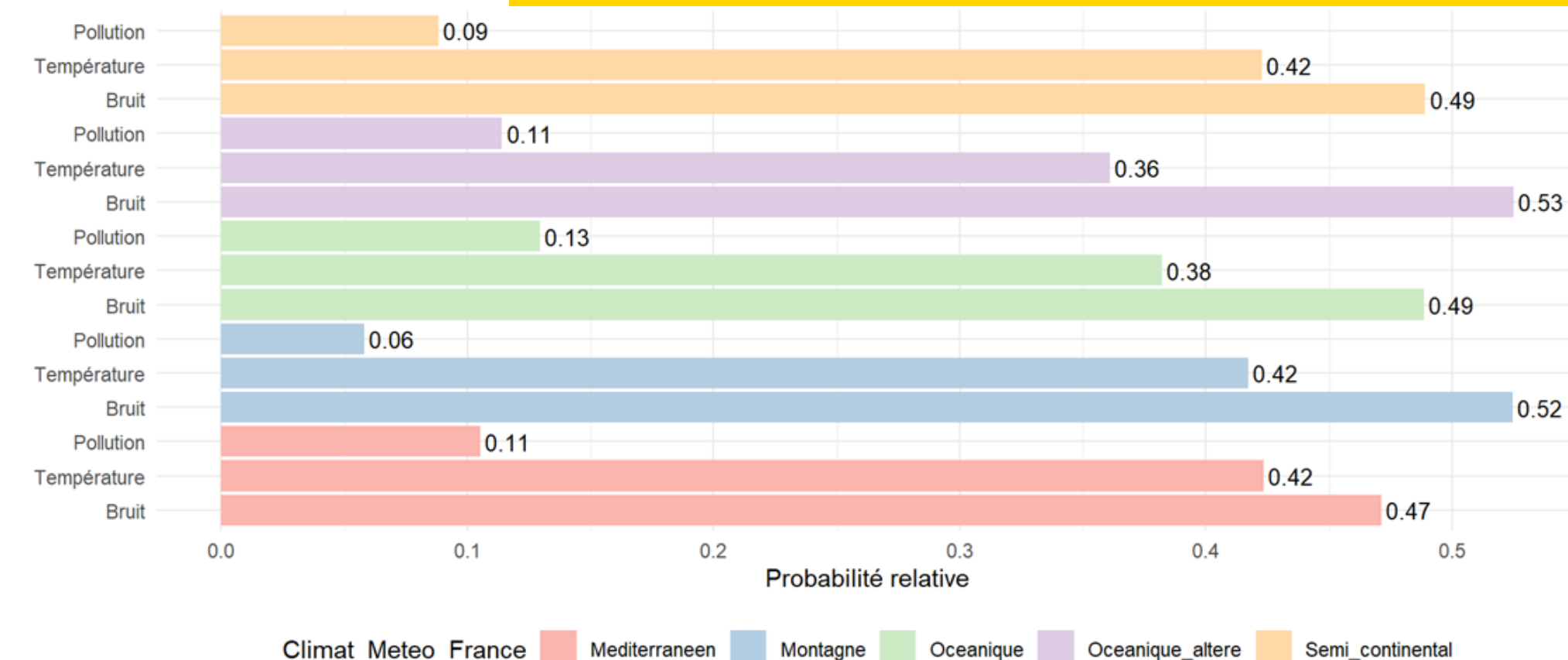
CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

Enquête 1 :Préférences en termes de confort par zone climatique - Journée



Préférences en termes de confort par zone climatique - Nuit





CREATIV

1^{ère} enquête

Dans le cas de températures extérieures au logement inférieures à 35°C pendant la journée et à 20 °C pendant la nuit :

- les actions passives (fenêtre ou volet) sont préférées aux actions actives (climatiseur ou ventilateur). Il existe, en outre, une réduction de l'utilisation de ces différentes actions pendant la nuit, mais l'ordre des actions préférées reste stable.

Dans le cas où la température extérieure au logement est supérieure à 35°C pendant la journée (période de canicule) :

- l'ordre des actions entre volet et ventilateur s'inverse la nuit, ce qui s'explique par un différentiel d'utilisation des volets entre la journée et la nuit plus important que le différentiel pour les 3 autres actions, à cause d'une logique de protection solaire faite par les individus

Lorsque la température extérieure augmente, la fréquence de la mise en œuvre de ces 4 actions par les occupants augmente, que ce soit le jour ou la nuit.

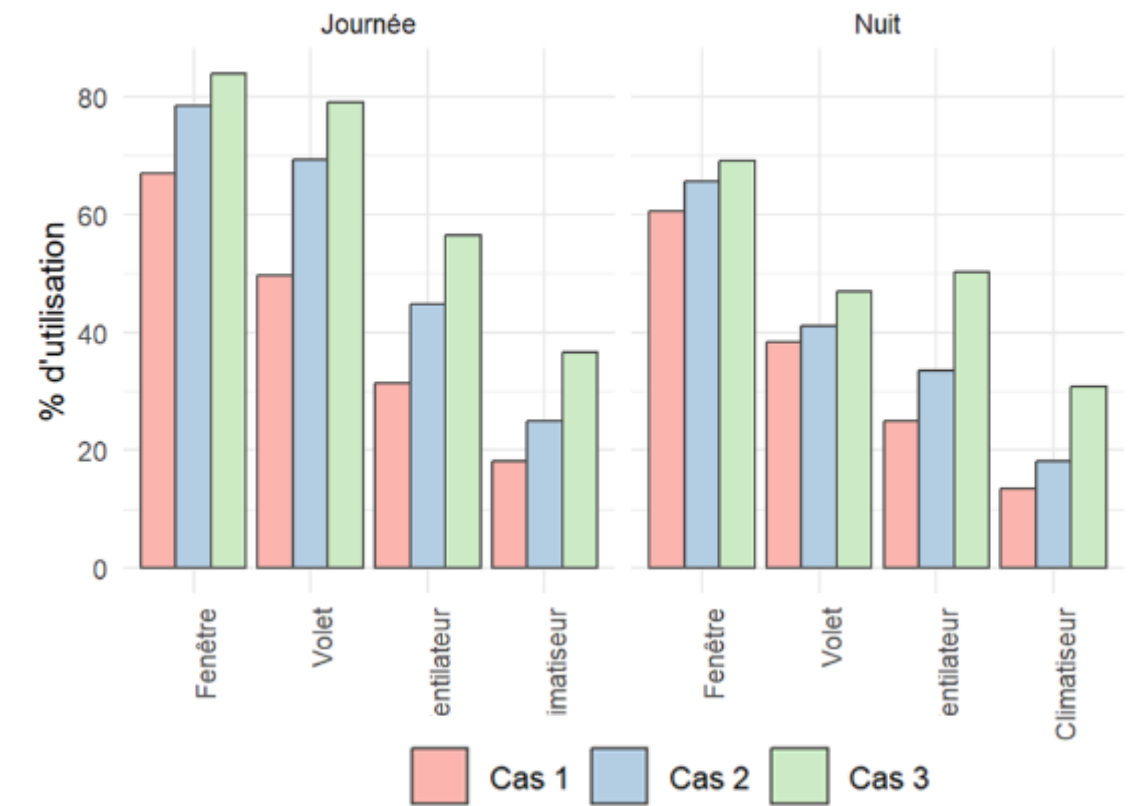
2^{ème} enquête

Actions qui seraient réalisées en période de canicule en dé-contingentant des équipements présents dans le logement

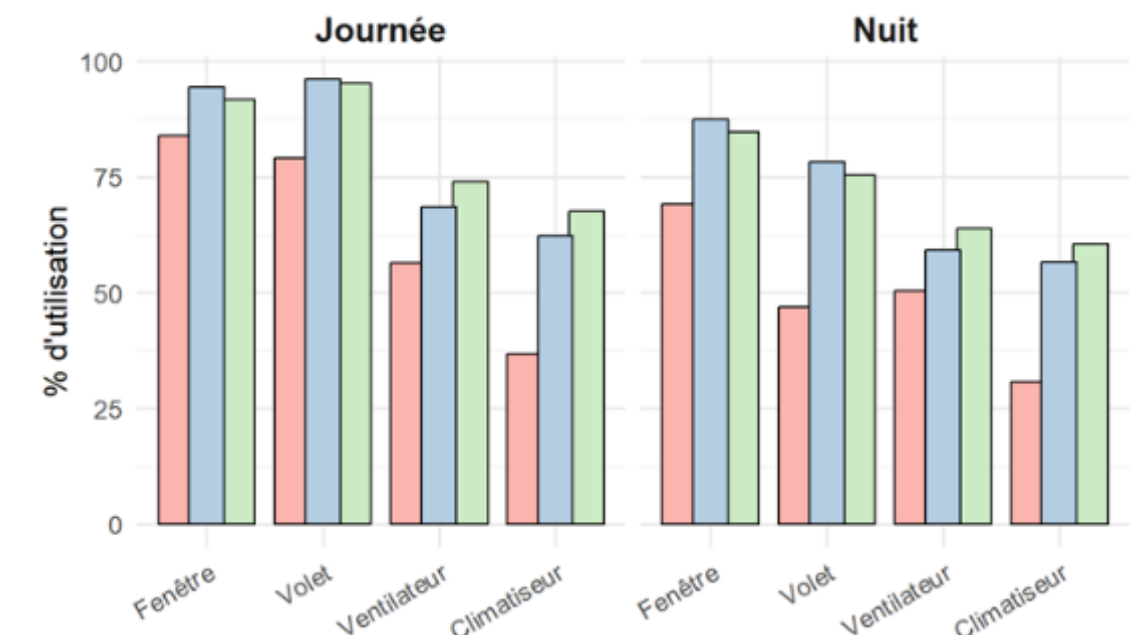
- augmentation des actions lorsque les personnes ne sont pas contingentées par leurs équipements (de l'ordre de 2 fois plus dans le cas du climatiseur).
- les répondants se situant dans une unité urbaine de plus de 100 000 habitants seraient prêts à utiliser moins souvent les volets et les fenêtres que ceux habitant dans des unités urbaines plus petites pendant la journée et la nuit.
- C'est l'inverse concernant la climatisation et la ventilation

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

Actions en fonction de la période et de la température extérieure au logement



cas 1 : 25–30 °C, cas 2 : 30–35 °C, cas 3 : > 35 °C



Légende TU0_5 : unité urbaine de moins de 100 000 habitants, et TU678 : 678 unité urbaine de plus de 100 000 habitants

Enquete_1 Enquete_2_TU0_5 Enquete_2_TU678



CREATIV

Tâche 5 – Enquêtes socio-économiques

Trois grands profils de comportements peuvent être mis en évidence :

Cluster 1 47,3% de l'échantillon	Cluster 2 31 % de l'échantillon	Cluster 3 21,5% de l'échantillon
Ce profil regroupe plus fréquemment : - Des personnes âgées de 65 ans ou plus - Sur représentation d'habitants de la zone climatique de type océanique - Sur représentation de ménages modestes (revenu net mensuel entre 1401€ et 2200€) - Foyers de plus petite taille - Logements moins souvent rénovés en termes d'aération - Accordent une importance prioritaire au bruit la nuit - Meilleure tolérance à la chaleur en journée	Ce profil regroupe plus fréquemment : - Habitants en appartement - Dans des logements plutôt anciens (1948-1974) - Qui perçoivent leur logement comme inconfortable thermiquement - Avec une sur-représentation des 45-54 ans - Fréquemment des personnes qui fument à l'intérieur	Ce profil regroupe plus fréquemment : - Individus plus jeunes en moyenne - Foyers de plus grande taille - Dans des logements plutôt construits entre 1975 et 1989 - Zones climatiques plus chaude (climat méditerranéen) - Déclarent plus de cas d'asthme ou problèmes respiratoires - Tolèrent moins bien la chaleur mais plus tolérant au bruit
Peu de stratégie d'adaptation - Très faible usage bioclimatique des fenêtres et des volets de jour comme de nuit (ouverture la journée/fermeture la nuit) - Très faible usage du climatiseur ou du ventilateur de jour comme de nuit	Adoptent une stratégie d'adaptation : - Comportement d'ouverture et de fermeture marqué et cohérent : Les volets et fenêtres sont fermés le jour et ouverts la nuit avec une intensité croissante selon la température extérieure - Ayant peu recours à la climatisation	Adoptent une stratégie d'adaptation : - Comportement d'ouverture et de fermeture marqué et cohérent : Les volets et fenêtres sont fermés le jour et ouverts la nuit avec une intensité croissante selon la température extérieure - Recours plus intensif à la climatisation au-delà de 25°C

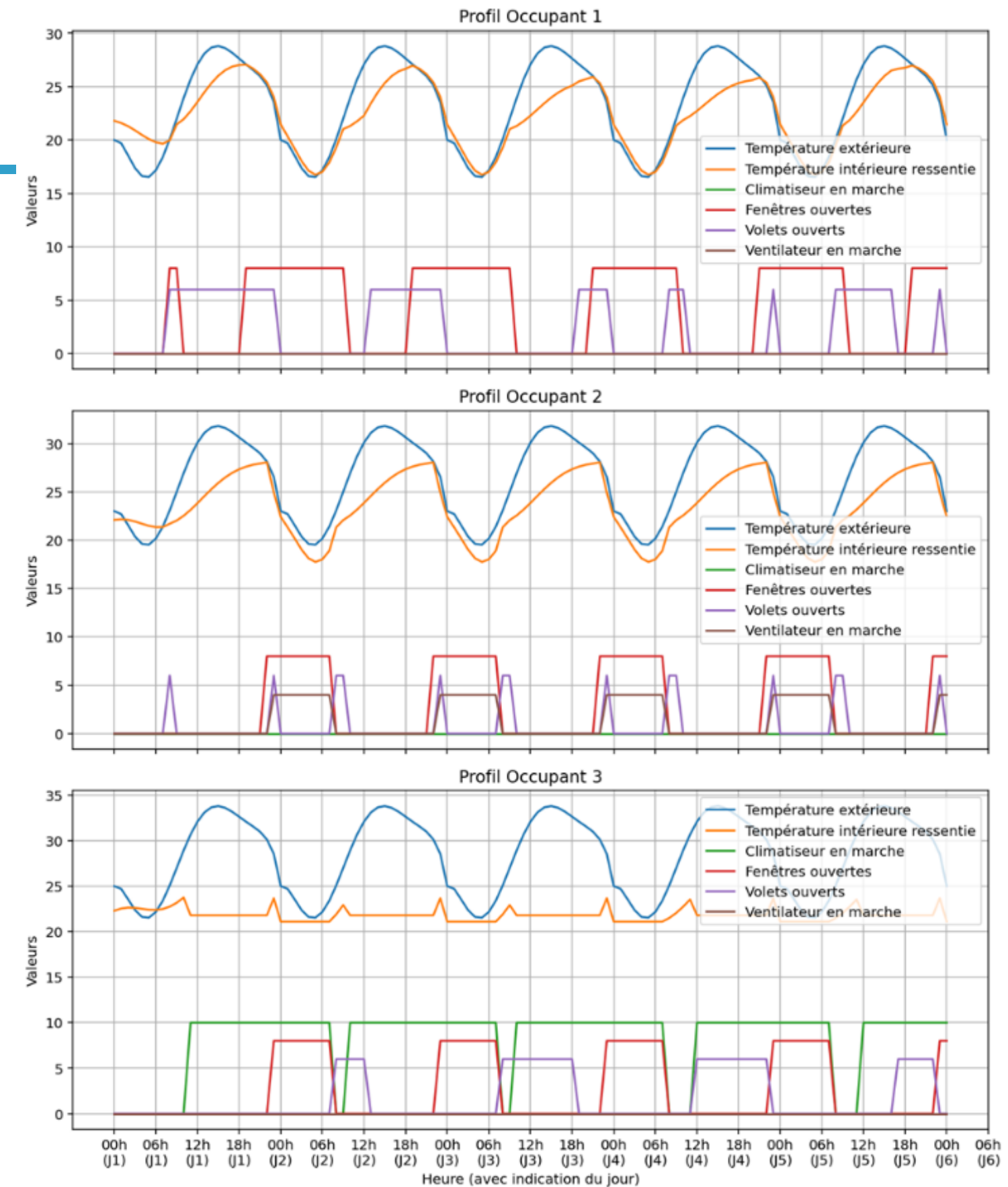


CREATIV

Tâche 5 – Réalisation d'un modèle multi-agents

Réalisation de profils occupants
Modèle occupant - MMAE1

Modèle anticipatif : Modèle qui prend en compte l'anticipation par les personnes des résultats de leurs actions ou de leurs non actions



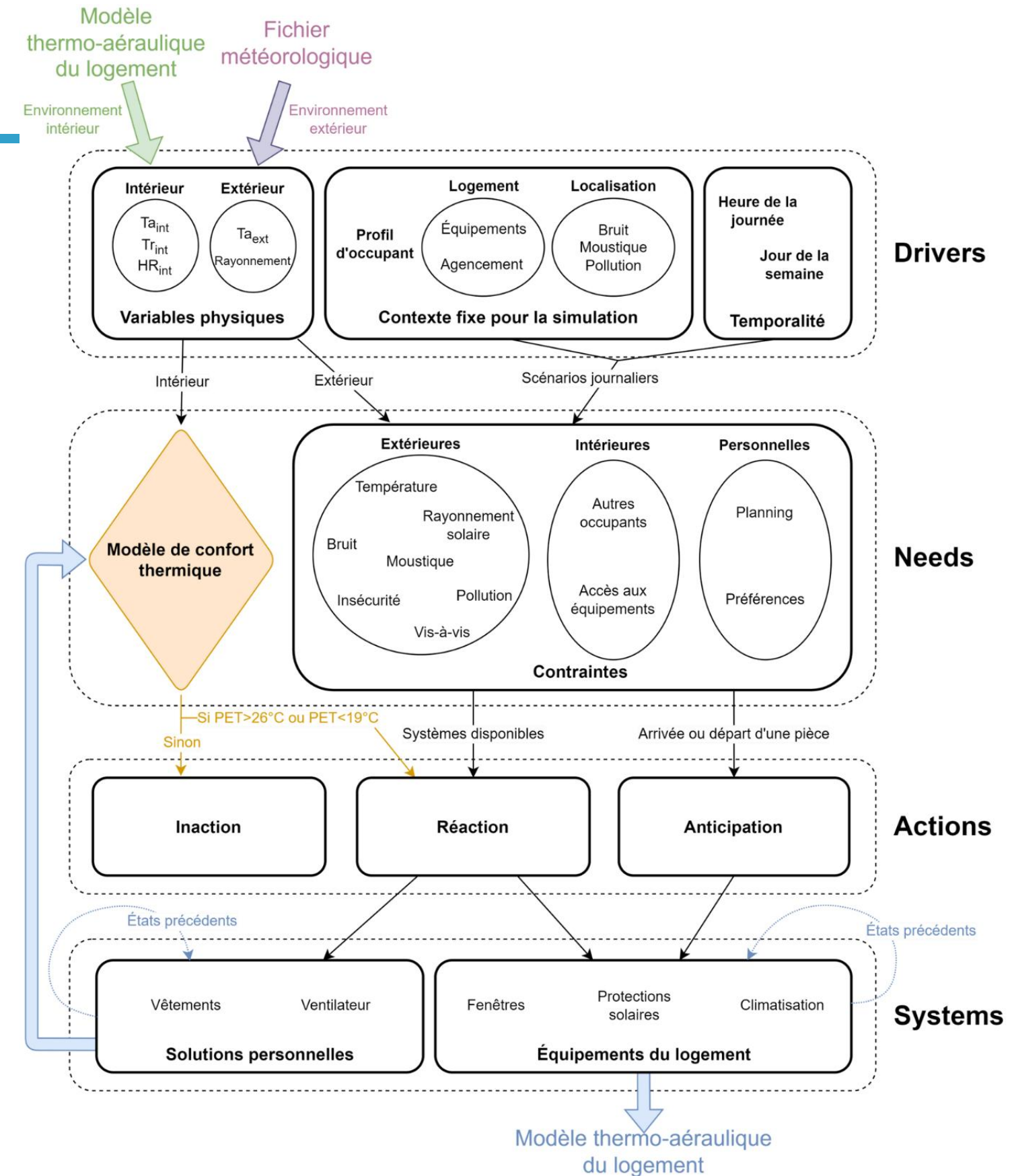


CREATIV

Tâche 5 – Réalisation d'un modèle multi-agent

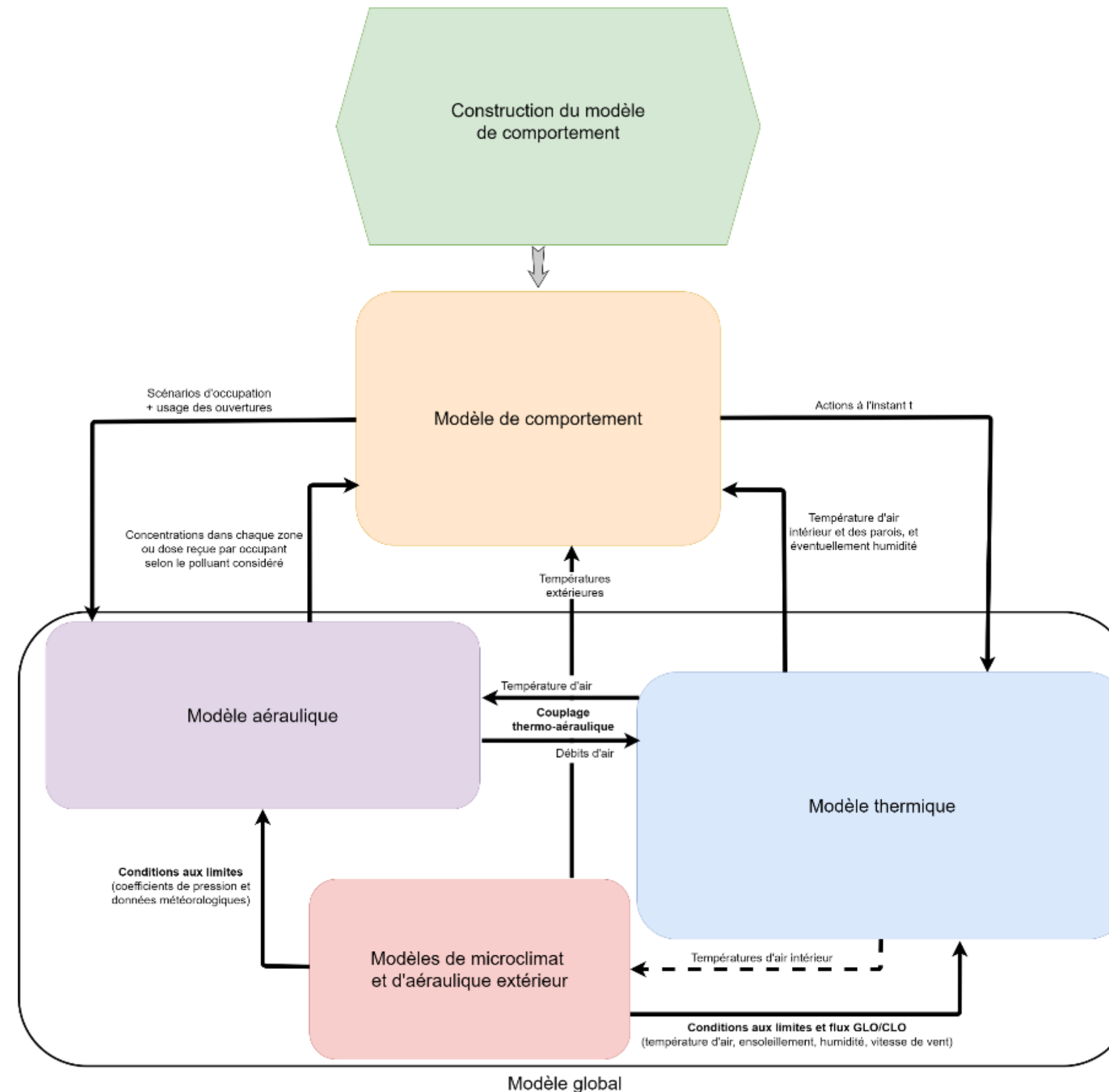
Modèle occupant

Schéma conceptuel du modèle multi-agents et ses échanges avec les modèles physiques



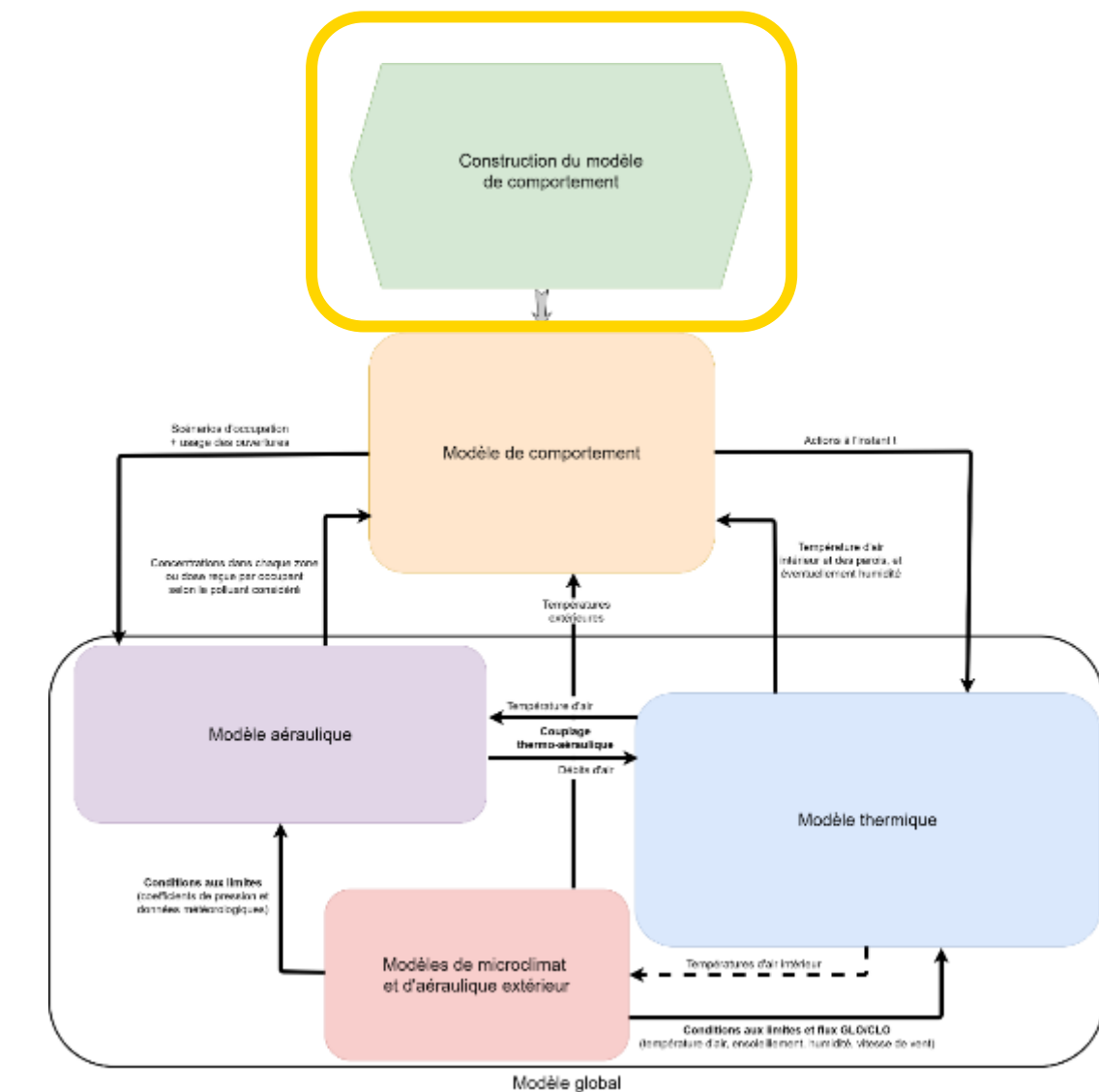
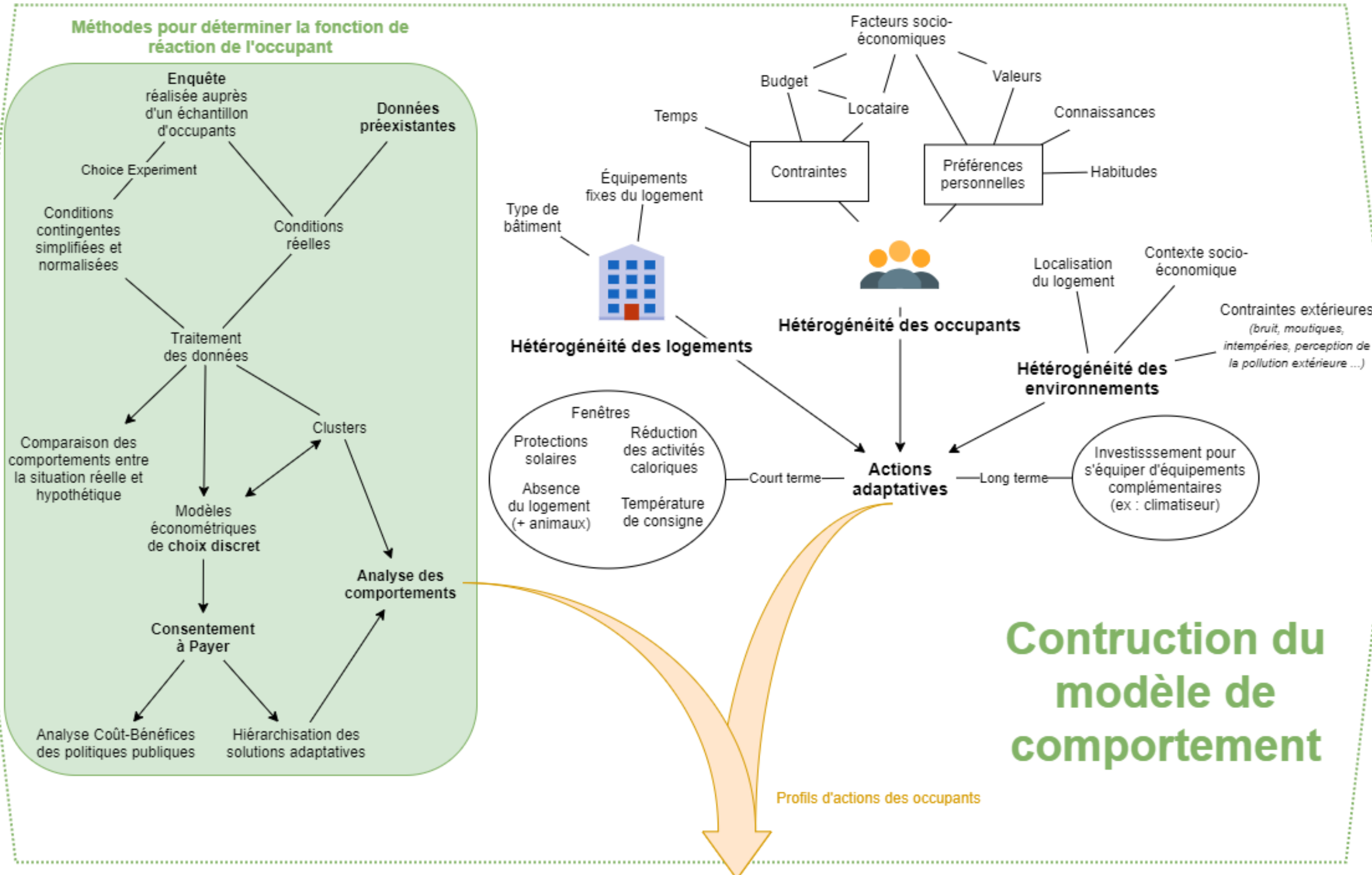
M. Hostein, B. Moujalled, M. Musy, MOBAPY: Modelling Household Adaptation to Summer Heat in Urban Environments Using Agent-Based Simulation, Applied Sciences 16 (2026). <https://doi.org/10.3390/app16157742>.

Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique



CREATIV

Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique



Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

Construction du modèle de comportement des occupants grâce à la microéconomie

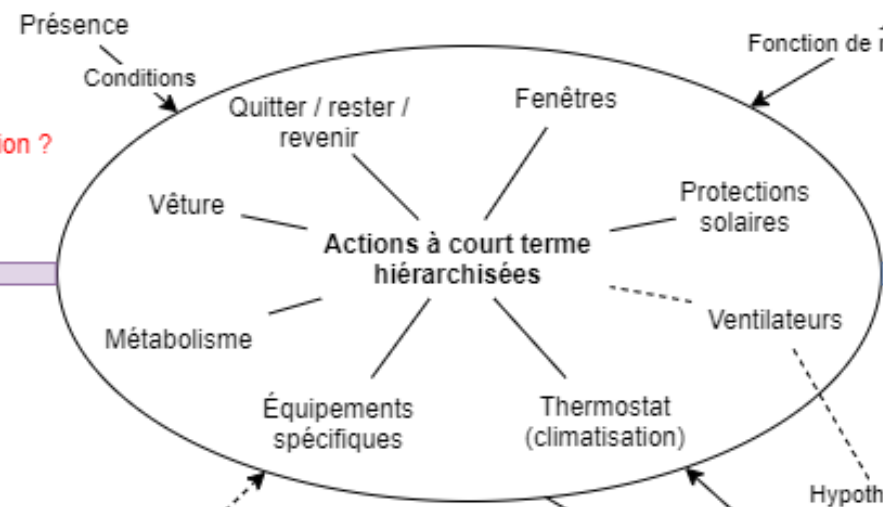
Modèle de comportement

(pour chaque occupant)

Modélisation des actions à long terme : qu'est-ce qui déclenche l'investissement ?

Comment modéliser l'anticipation ? Avec profils d'individus ?

Profil d'occupant appartenant à un ménage et habitant un logement



Choix du modèle ou des indicateurs de confort thermique : Est-ce qu'on prend une zone confortable ou un modèle détaillé (différences inter-individuelles) ?

Confort thermique

Variables de l'environnement intérieur (températures d'air et des parois, et éventuellement humidité)

Température extérieure

Entrées du modèle aéraulique = scénario d'occupation + usage des ouvertures

Exposition aux polluants

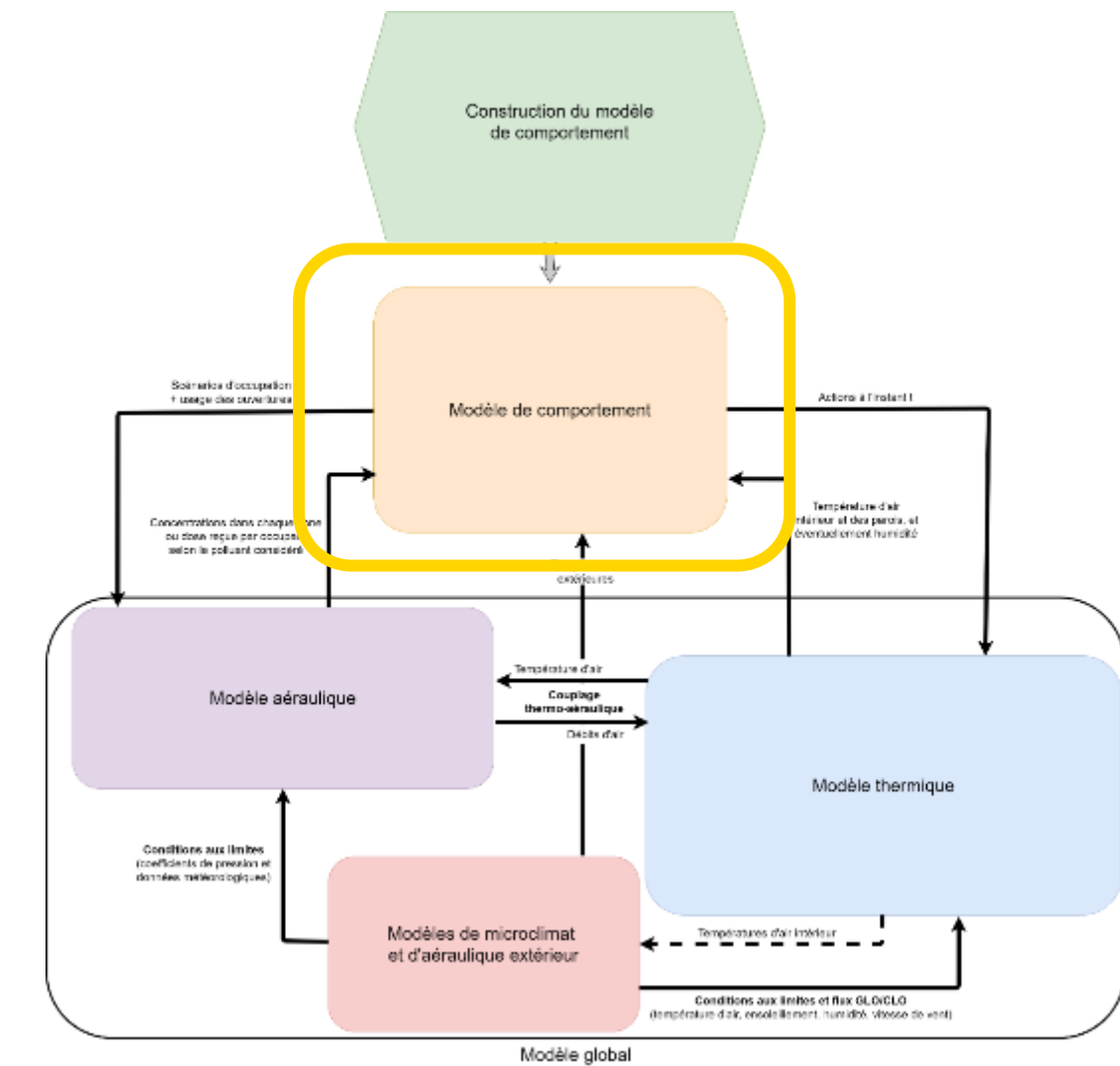
Humidité, CO₂, PM_{2,5} et PM₁₀, Benzène, Ozone, NO₂, Formaldéhyde, COV

Sorties du modèle aéraulique = concentrations dans chaque zone ou dose reçue par occupant selon le polluant considéré

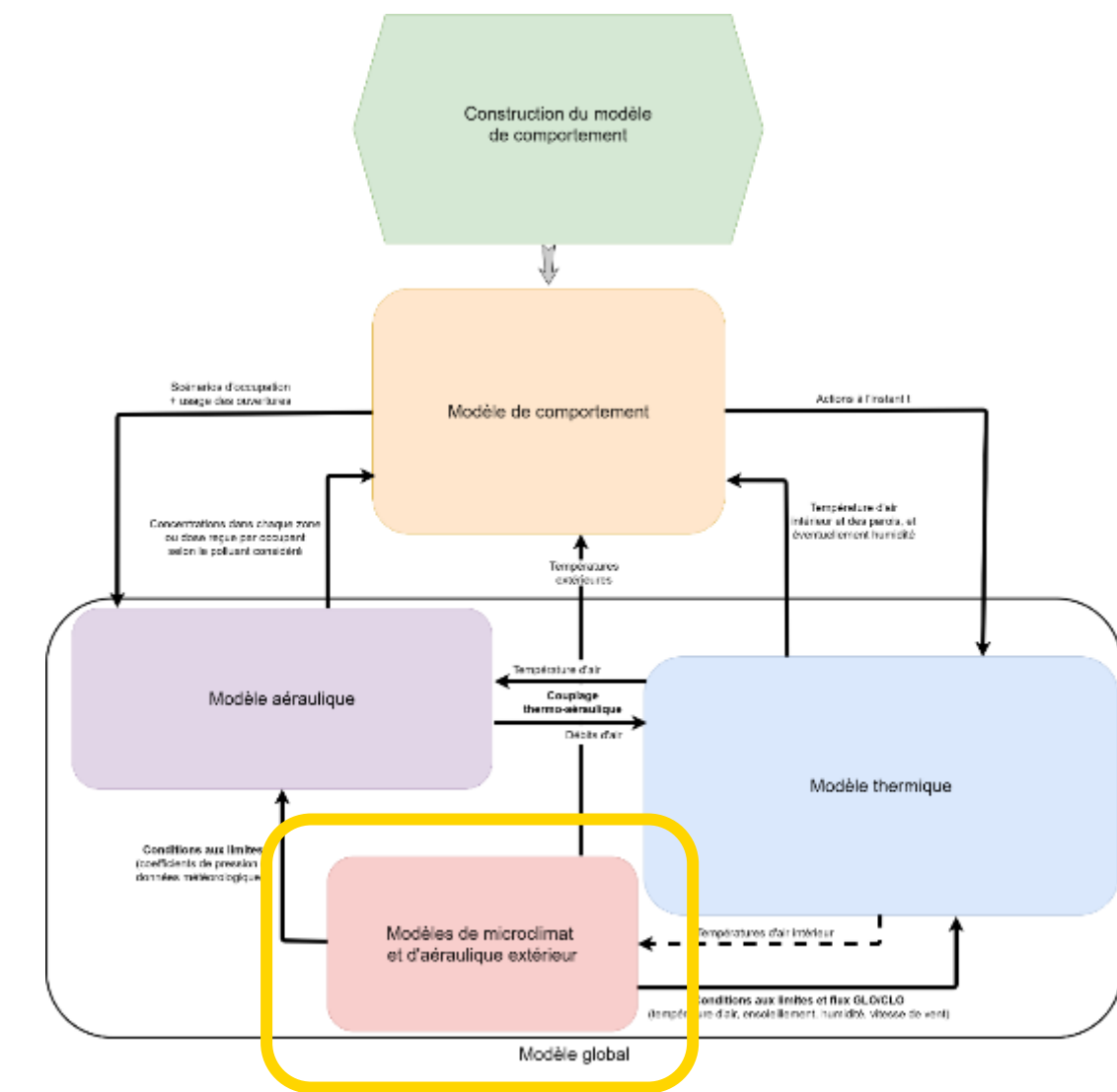
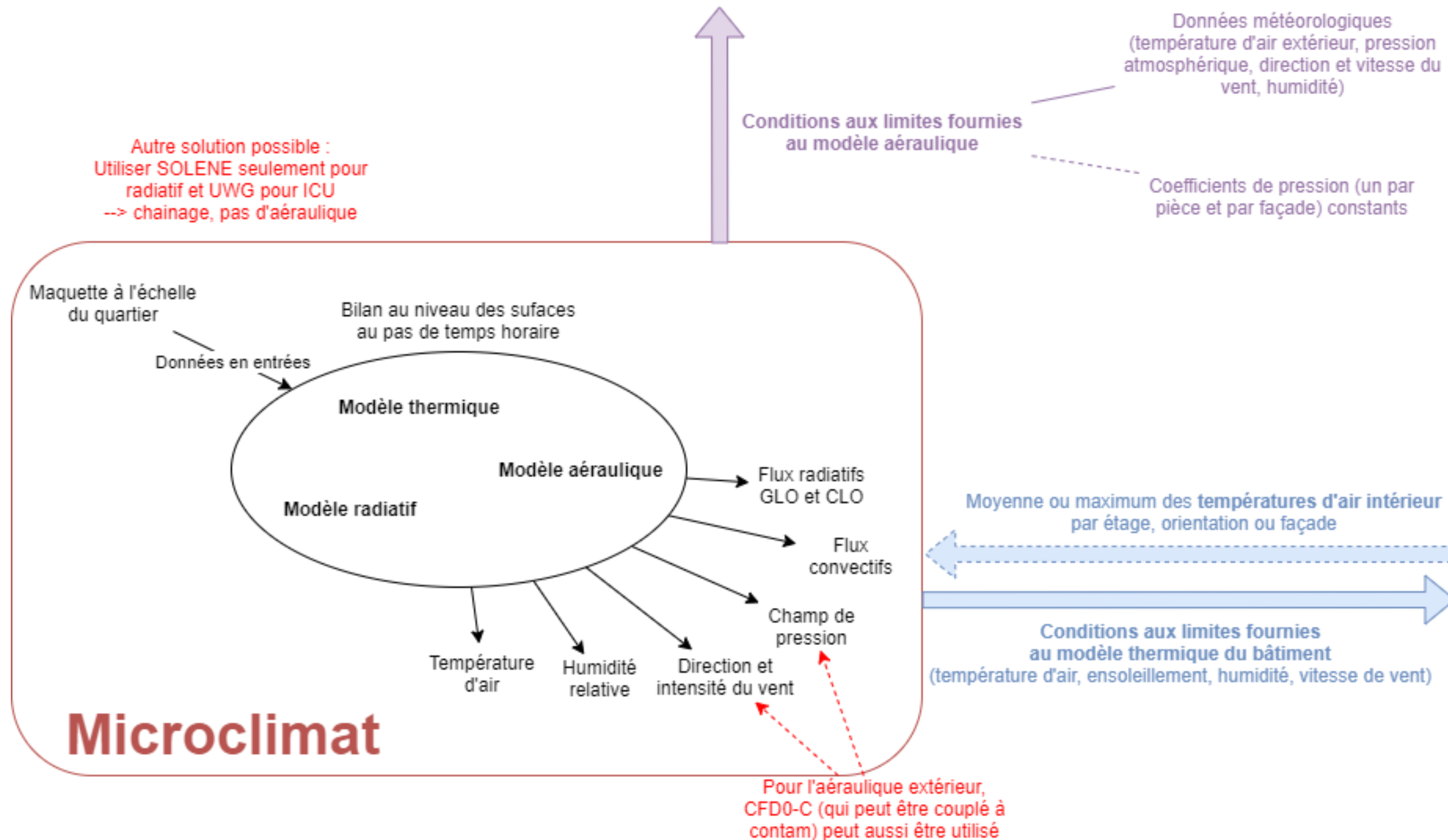
Sorties du modèle de microclimatologie

Sorties du modèle thermique

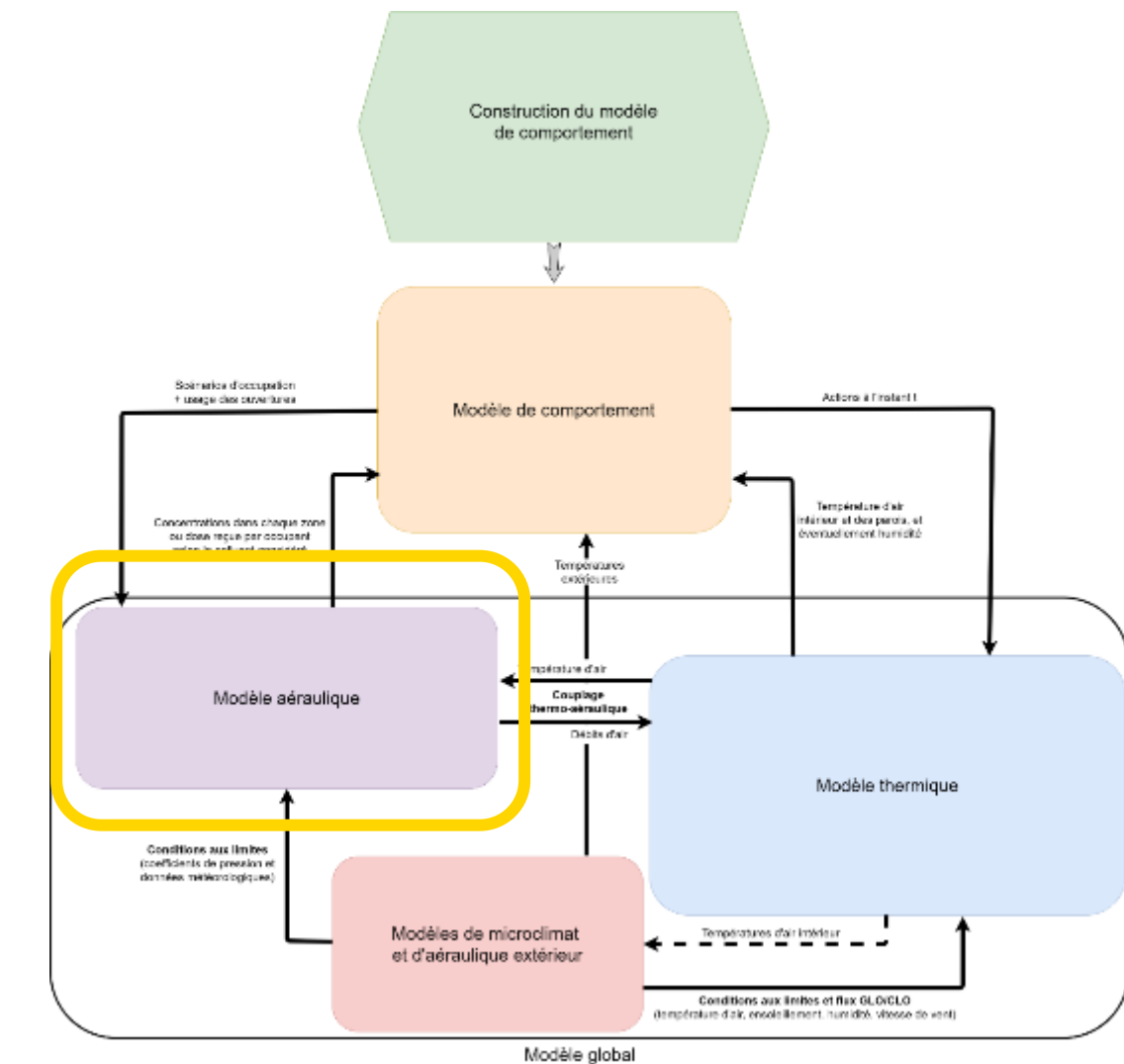
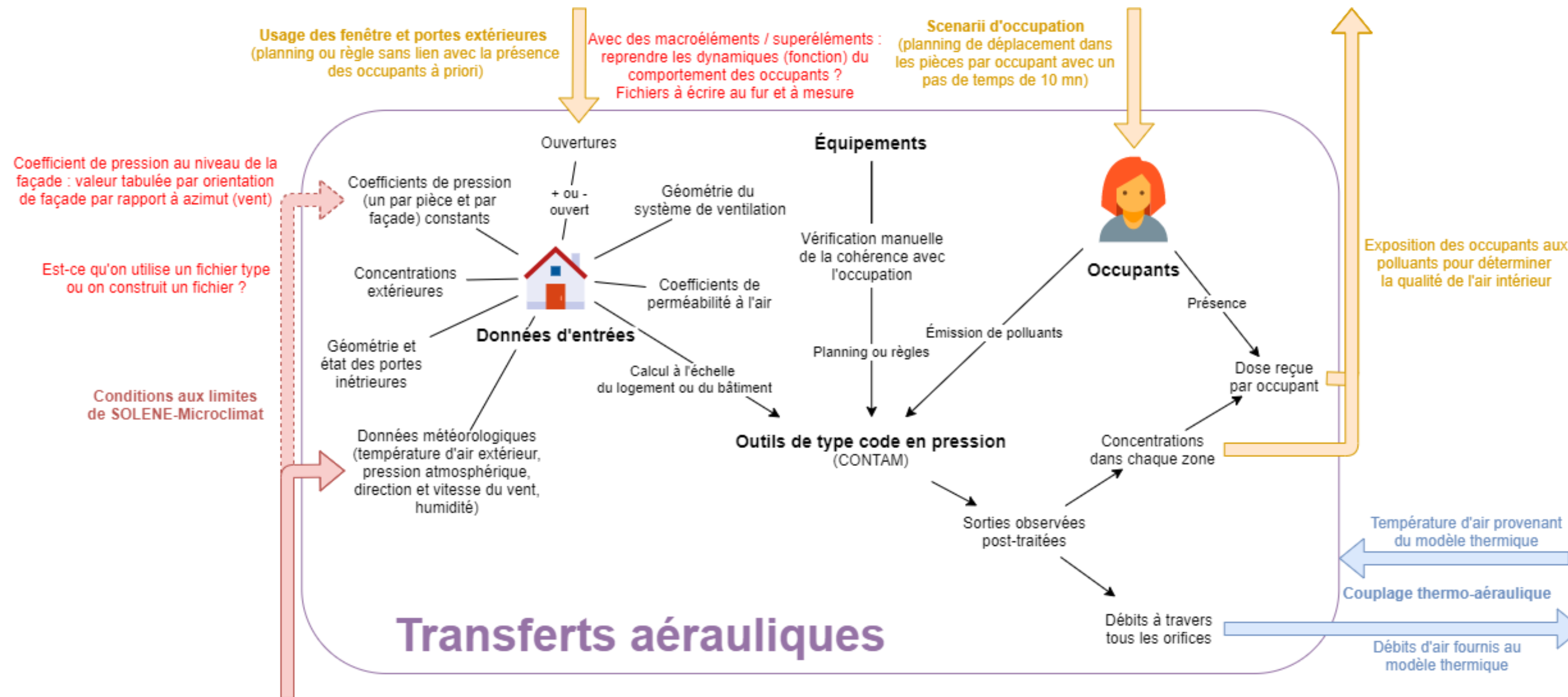
Un pas de temps de 1h est suffisant pour la partie thermique mais insuffisant pour l'aéraulique où il y a besoin de 10 mn et les enquêtes ne peuvent pas être aussi précises



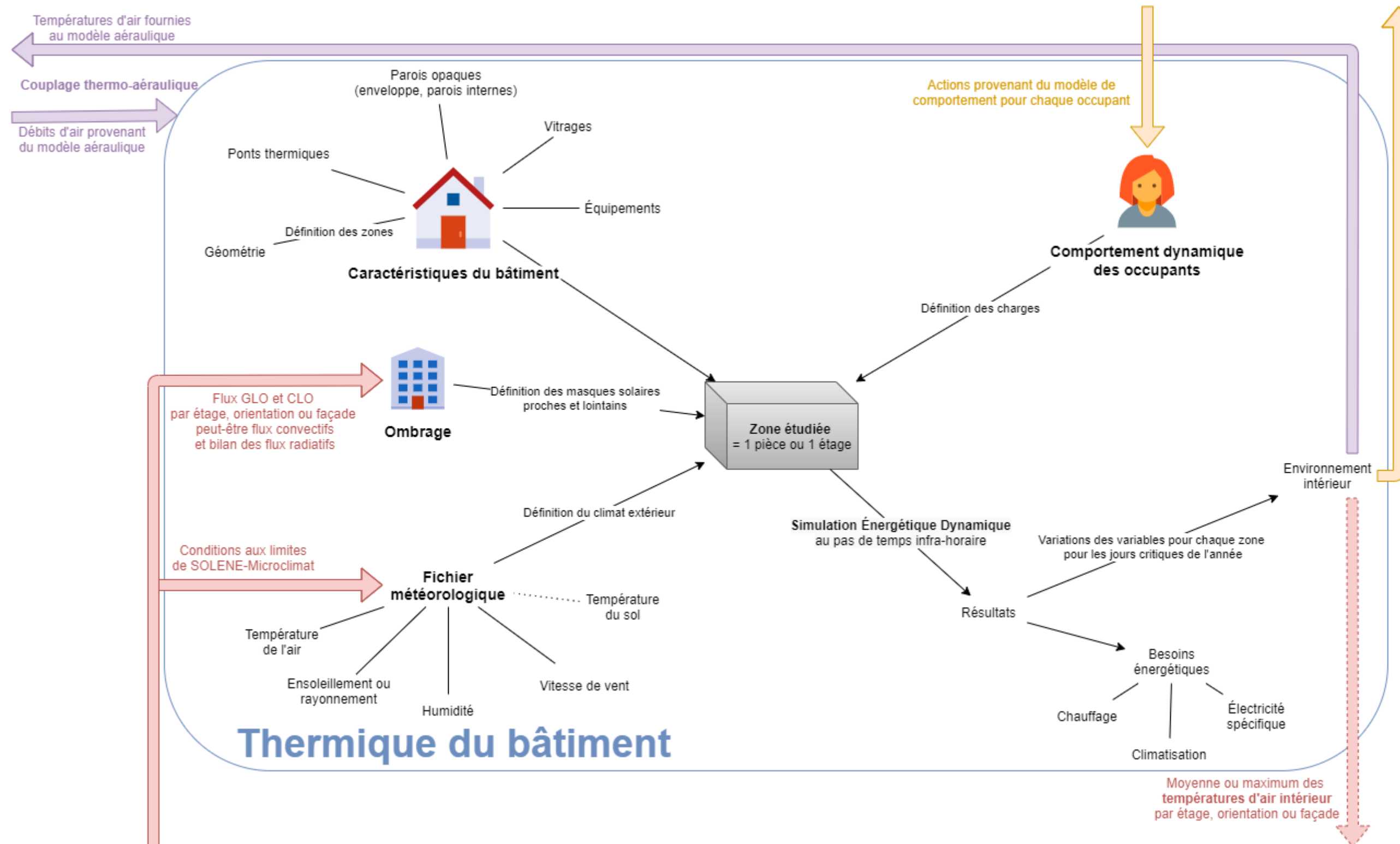
Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique



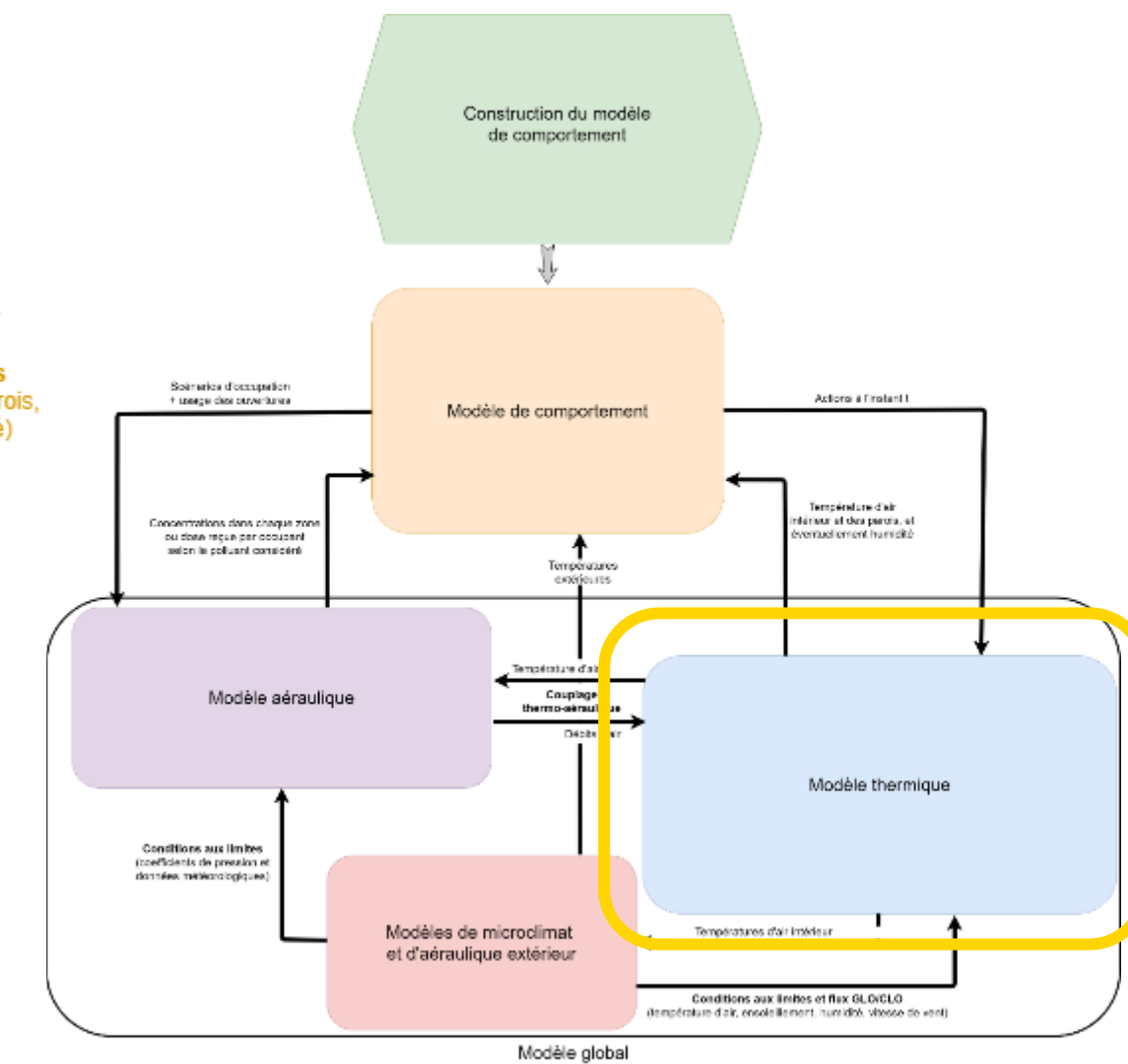
Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique



Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

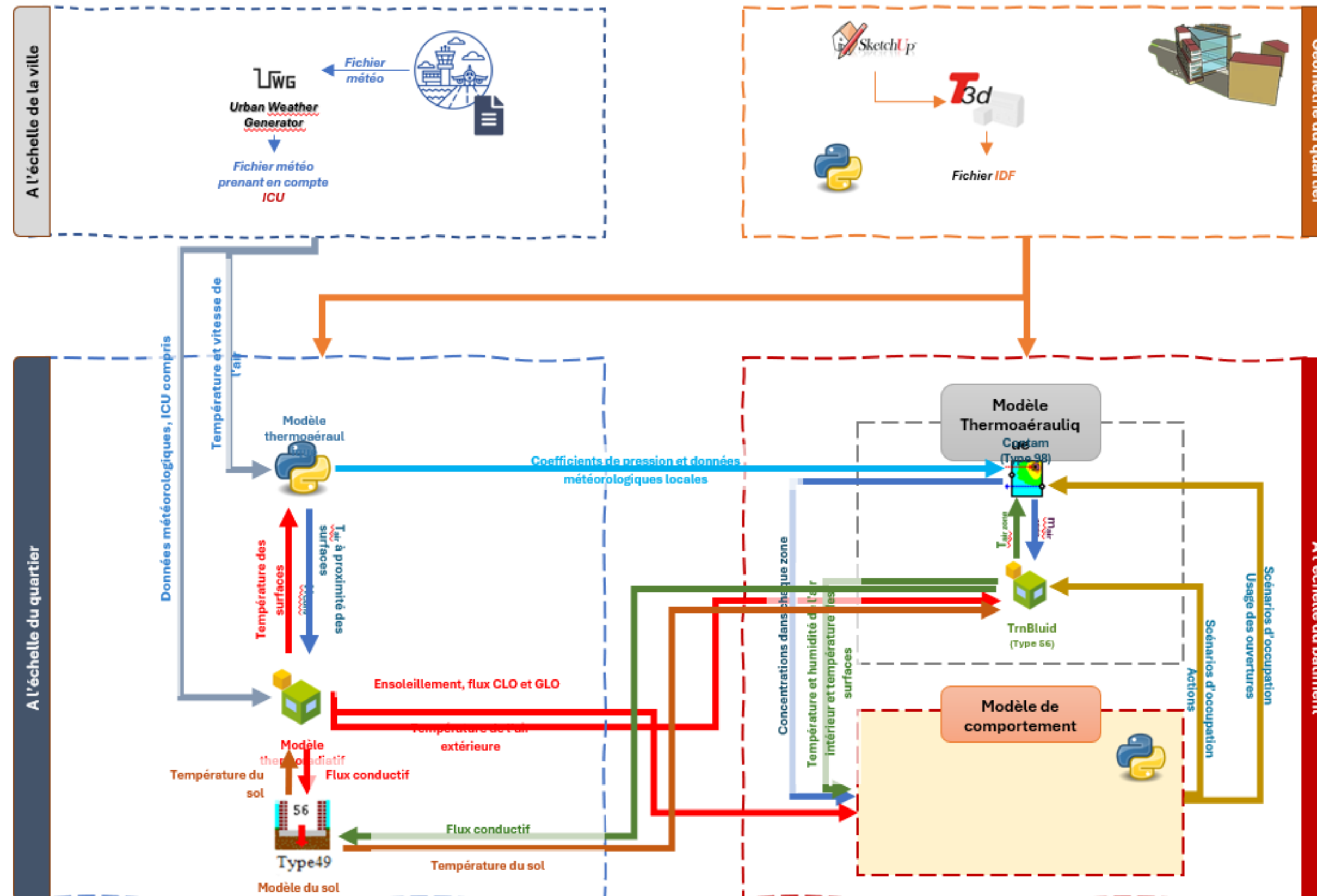


Variables utilisées pour déterminer le confort thermique des occupants (températures d'air et des parois, et éventuellement humidité)



Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

Développement d'une modélisation couplée de l'occupation, des transferts d'air et des polluants, des ICU et du confort thermique





CREATIV

Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

Matrice de cas de figures:

PLUSIEURS MILLIERS DE CONFIGURATION A SIMULER
NECESSITE DE CIBLER ET REDUIRE LES CAS DE FIGURES

Zone climatique : 3 grands types de climats

Micro-climat urbain – 9 catégories

Typologie Qualité d’Air – 4 catégories

Typologie Bâtiment – 3 bâtiments instrumentés
Regroupement en 7 catégories possible

Variables de configurations
Traversants / Mono-orientés / bi-orienté – type de toitures
Système de ventilation
Rénovation

Modèles de comportements

Actions / solutions / recommandations

MODELISATION COUPLEE IMPLIQUE UN NOMBRE DE CAS DE
FIGURE EXPONENTIEL

CREATIV

Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

Matrice de cas de figures:

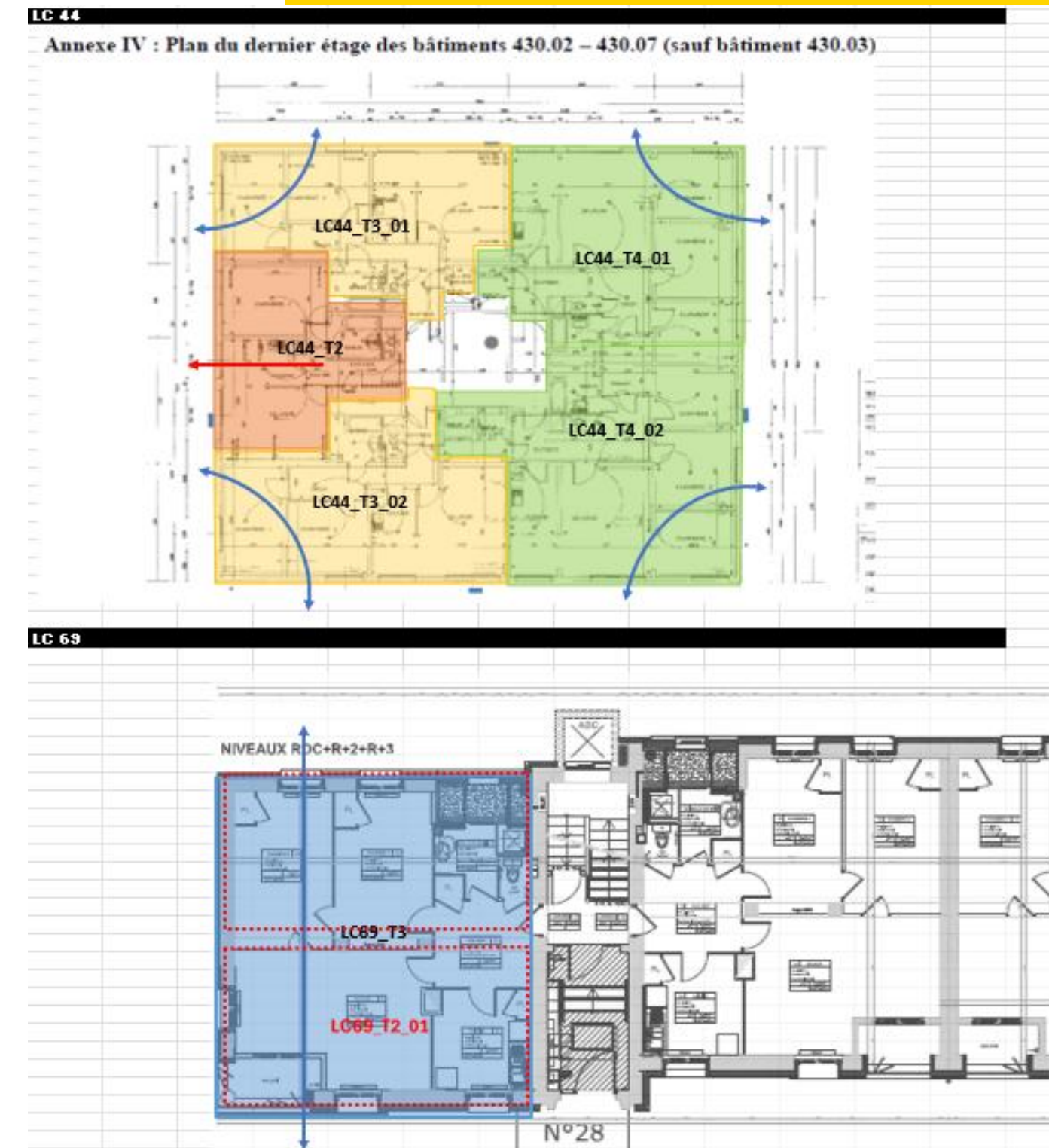
Climat	Environnement	Orientati on bâtiment	Bâtiment	Types ventilatio n	Occupant s (profils)	Actions
Toulouse, Marseille, Nantes, Lyon et Paris, éventuelle ment Brest	36 configurat ions (4 <i>QAE</i> & 9 <i>LCZ</i>) Limiter à 3 LCZ?	4 N, S, O, E	- MI (98/99) - GLC (1954 – Réhabilitati on en 1991 et 2017) - PLC (Années 70 - 1993 bardage)	VMC SF VMC DF	Profil « mauvais » Profil « standard » Profil « bon »	Scénarios de rénovatio n, d'occupati on → d'adaptati on au changeme nt climatique

Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique

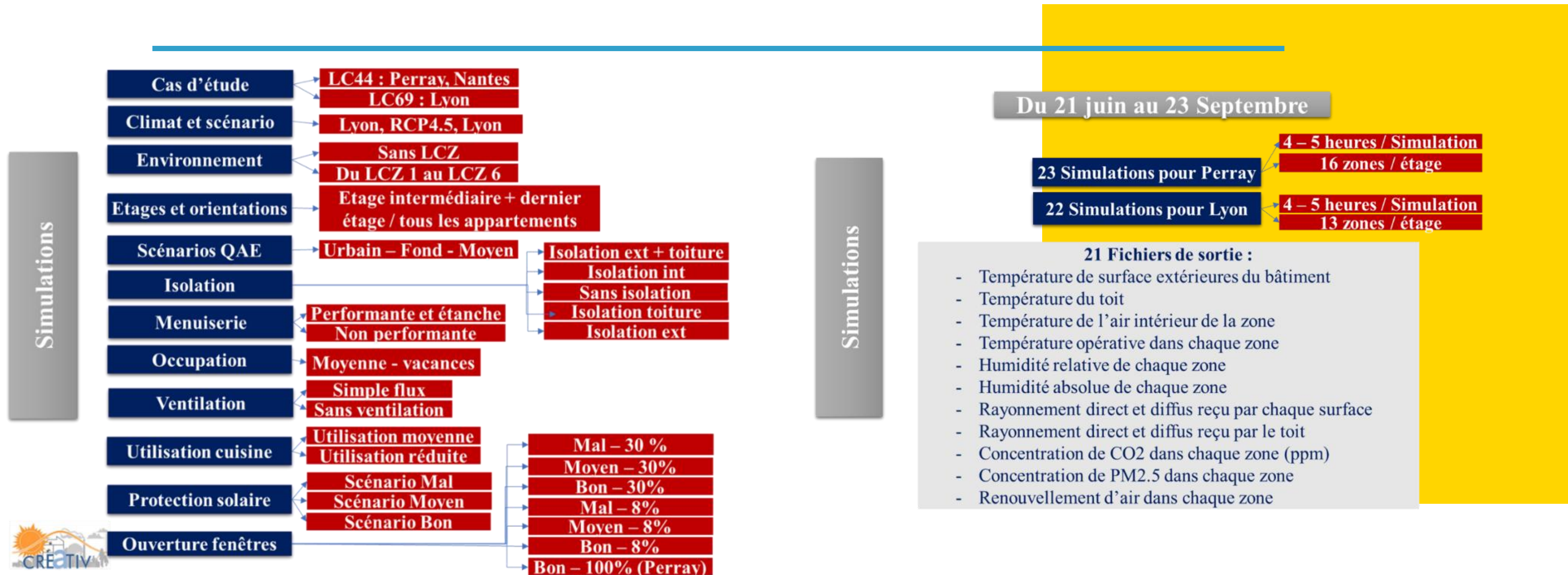
Les logements simulés : 2 bâtiments

17 logements – 68 zones (pièces principales : cuisines/séjours et chambres)

Num apparteme	typo bâtimen	Typo pièces	Typo appartement	Orientation	Localisation
APP 01	MI63	T5	TYPAPP_Trav	ORI_S	LOCAPP_sstoit
APP 02	LC42	T3	TYPAPP_Bi	ORI_NNO	LOCAPP_Inter
APP 03	LC43	T3	TYPAPP_Bi	ORI_NNO	LOCAPP_sstoit
APP 04	LC44	T3	TYPAPP_Bi	ORI_SSE	LOCAPP_Inter
APP 05	LC45	T3	TYPAPP_Bi	ORI_SSE	LOCAPP_sstoit
APP 06	LC46	T4	TYPAPP_Bi	ORI_NNO	LOCAPP_Inter
APP 07	LC47	T4	TYPAPP_Bi	ORI_NNO	LOCAPP_sstoit
APP 08	LC48	T4	TYPAPP_Bi	ORI_SSE	LOCAPP_Inter
APP 09	LC49	T4	TYPAPP_Bi	ORI_SSE	LOCAPP_sstoit
APP 10	LC50	T2	TYPAPP_Mono	ORI_OSO	LOCAPP_Inter
APP 11	LC44	T2	TYPAPP_Mono	ORI_OSO	LOCAPP_sstoit
APP 12	LC69	T3	TYPAPP_Trav	ORI_OSO	LOCAPP_Inter
APP 13	LC69	T3	TYPAPP_Trav	ORI_OSO	LOCAPP_sstoit
APP 14	LC69	T2	TYPAPP_Mono	ORI_OSO	LOCAPP_Inter
APP 15	LC69	T2	TYPAPP_Mono	ORI_OSO	LOCAPP_sstoit
APP 16	LC69	T2	TYPAPP_Mono	ORI_SSE	LOCAPP_Inter
APP 17	LC69	T2	TYPAPP_Mono	ORI_SSE	LOCAPP_sstoit



Tâche 6 - Modélisation couplée thermo-aéraulique et microclimatique





CREATIV

Tâche 7 - Fiches recommandations

FICHES BÂTIMENT

SOL_BAT_01 – Isolation thermique du bâtiment	<i>Amélioration de l'isolation thermique du bâti</i>
SOL_BAT_05 - Changement des Menuiseries	<i>Changements des menuiseries extérieures Amélioration de l'étanchéité à l'air du logement</i>
SOL_BAT_06 - Installation PS Fenêtres	<i>Mise en place de protections solaires des baies sur l'ensemble des fenêtres</i>
SOL_BAT_08 - Menuiseries oscillo-battantes	<i>Menuiseries oscillo-battantes</i>

FICHES USAGES

SOL_US_02 - Aération nocturne	<i>Ouverture des baies - Aération nocturne</i>
SOL_US_03 - Réduction utilisation cuisine	<i>Minimiser l'utilisation de la cuisine et le recours aux cuissons pendant les fortes chaleurs</i>

FICHES SYSTEMES

SOL_SYST_03 – Brasseurs d'air ou Ventilateurs	<i>Mise en place de brasseurs d'air plafonniers ou ventilateurs</i>
--	---

FICHE ENVIRONNEMENT URBAIN

SOL_ENV_01 Végétation des abords/du quartier	<i>Végétalisation des abords/du quartier</i>
---	--

Tâches 7 - Fiches recommandations (en cours)

ENV BATI SYST **US**

FICHE SOLUTION USAGES 02 Aération nocturne



Intitulé de la solution de type USAGE
Maintient des baies ouverte la nuit et dès que la température extérieure est inférieure à celle intérieure.

Intérêt
Evacuation de l'air réchauffé pendant la journée ainsi que de la chaleur accumulée dans les parois

Gain confort d'été* – Ouvert vs fermé la nuit
Diminution du risque d'inconfort thermique d'environ 200 à 300h selon les configurations

Périmètre d'application
Saison : En été et mi-saison si fortes chaleurs.
Localisation : Dans les espaces où les fenêtres sont ouvrables la nuit.
Temporalité : La nuit, et le soir quand la température extérieure est plus basse que la température intérieure.

Facilité de mise en œuvre et freins
Disponibilité : Selon appartement
Effort : Ouverture des menuiseries à la main (non automatisé en logement) le soir et re-fermeture le matin lorsque les températures remontent.

Points de vigilances et limites
Dispositifs : Baies non fixes, à la française, soufflet, oscillo-battantes... (cf fiche solution bâtiment 08 – menuiseries oscillo-battantes)
Contre-indication : Voir solutions applicables selon risques d'intempéries / d'intrusion

Types de dispositifs possibles
Dispositifs recommandés : Menuiseries ouvertes sans protection solaire ou avec des dispositifs permettant de ventiler largement : volets à projection, brises soleil orientables inclinés, persiennes largement ouvertes etc
Scénarios d'ouverture de fenêtres recommandés :
- Ouvrir quand la température est plus basse à l'extérieur qu'à l'intérieur en période chaude.
Dispositions intermédiaires :
- Avec protections solaires en positions intermédiaires ou en mode oscillo-battant

Publics visés :
Habitants
Maîtrise d'ouvrage –
Promoteurs + Bailleurs +
Propriétaires individuels
Collectivités - Aménageurs

Typologie de situation concernée
Tout type d'environnement urbain
Milieu urbain dense
Milieu pollué

Illustrations



Fig.A – Ventilation très généreuse dans le cas d'un appartement traversant



Fig.B – Ventilation satisfaisante dans le cas d'un logement bi-orienté



Fig.C – Ventilation réduite dans le cas d'un logement mono-orienté

Présentation de la solution

Rafrachissement de l'air intérieur par ventilation naturelle par les ouvertures, la nuit dès le soir ou tardivement au petit matin selon les conditions climatiques, lorsque l'air extérieur devient plus frais que l'air dans le logement.

Limites :

- Les logements mono-orientés peu favorable à la circulation de l'air naturellement
- quand les nuits ne sont plus très fraîches et que l'écart de températures est faible
- Quand les conditions extérieures : bruit extérieur ou pollution de l'air sont un frein à l'ouverture des fenêtres sur les périodes fraîches

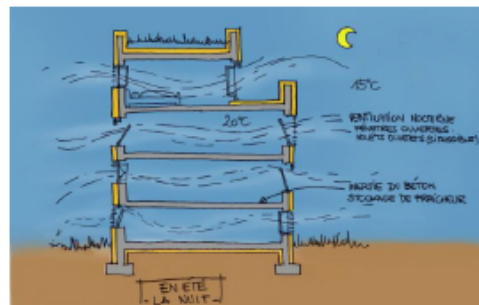


Schéma du recours à la ventilation nocturne par aération et ouverture de fenêtres : en rouge les oscillo-battant permettant une ventilation minimale, au dernier étage complètement ouvert lorsqu'il n'y a pas de risque d'intrusion ou d'intempéries. Illustration TRIBU.

Conditions urbaines de Qualité de l'air et expositions acoustiques: Résultats enquête socio-économique nationale – Enquête n°1

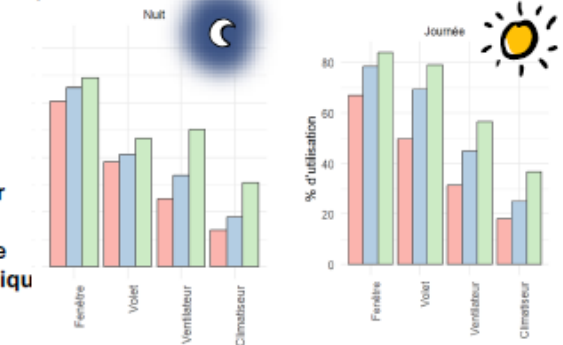
La nuit 43,7 % de la population considère qu'un niveau de bruit maximal inférieur à 40 dB est supportable dans le logement, pendant que 39,1 % considèrent qu'un niveau compris entre 40 jusqu'à 65 dB reste acceptable.

Par ailleurs, le critère classé comme le plus important pour le confort au sein du logement, pendant la journée en période chaude est :

- la température (47,4%)
- suivie du bruit (36,9%)
- puis de la pollution (15,6%).

Pour la nuit, l'ordre entre la température intérieure du logement et le bruit est inversé :

- Le bruit (50,8%)
- La température (38,3%)
- Puis de la pollution (10,9%).

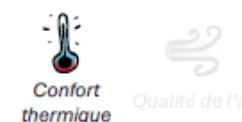


Actions en fonction de la période et de la température extérieure du logement

La possibilité d'ouvrir pour sur ventiler naturellement sera donc directement dépendante du niveau d'exposition acoustique

ENV BATI SYST **US**

FICHE SOLUTION USAGES 02 Aération nocturne



Modélisation et hypothèses de bases – Simulations CREATIV

* Le gain de confort a été simulé par modélisation aérodynamique et thermodynamique couplée

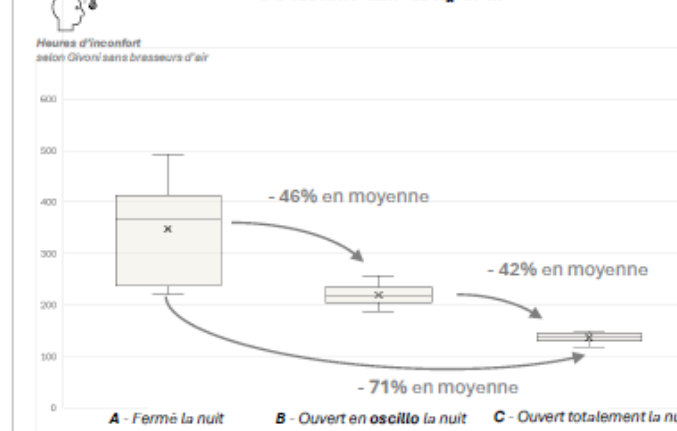
Les simulations thermiques dynamiques ont permis de réaliser des variantes concernant la surventilation nocturne par ouverture des fenêtres par rapport à un scénario de base sans surventilation nocturne :

- Ouvertures oscillo-battante – 30% d'ouverture
- Ouverture totale

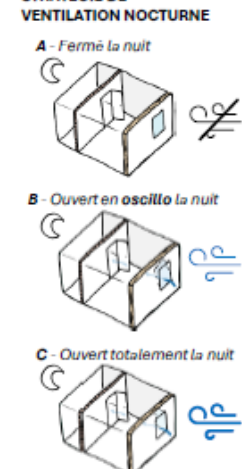
Les études de simulations ont été réalisées, sur 2 bâtiments de logements collectifs à Lyon et Nantes. Les données météo utilisées sont les projections selon les scénarios RCP 4.5 en 2050 pour la ville de NANTES et de LYON – chaque bâtiment étant localisé dans son environnement urbain.

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV

BOX PLOT de la répartition du nombre d'heures d'inconfort en occupation selon Givoni à 0m/s sur l'ensemble de l'échantillon CREATIV selon les variantes d'aération nocturne du logement



STRATEGIE DE VENTILATION NOCTURNE

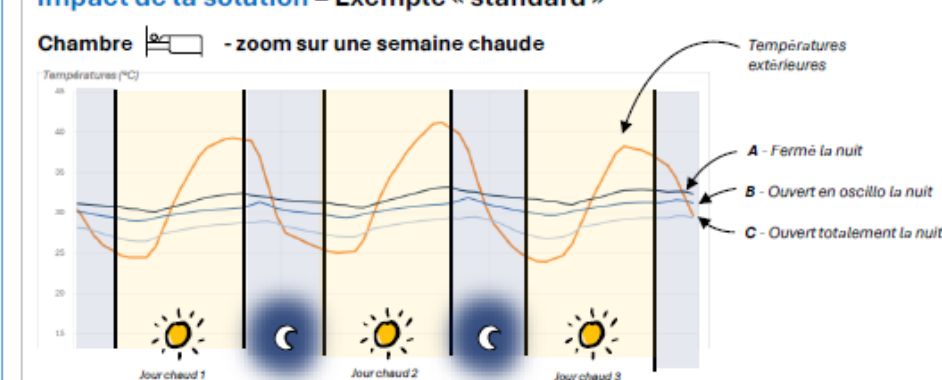


Interprétation et préconisation

La surventilation nocturne par ouverture des baies, permet un gain d'environ 3-4 degrés en période chaude dans la pièce relativement à une fermeture totale. Toutefois, dans les situations présentant des risques d'intrusion/intempéries, l'utilisation de solutions permettant de préserver la sécurité, l'intimité, les risques vis-à-vis des intempéries type : menuiseries oscillo-battantes, solutions types persiennes ou systèmes à projection etc... permettent d'abaisser les températures de 1°C à 3°C en moyenne en fonction du taux d'ouverture obtenu.

Un gain de 1°C permet de réduire le nombre d'heures d'inconfort de 46% en moyenne. L'ouverture complète permet un gain global de 71% de réduction du nombre d'heure d'inconfort estival (sans prise en compte de vitesses d'air).

Impact de la solution – Exemple « standard »

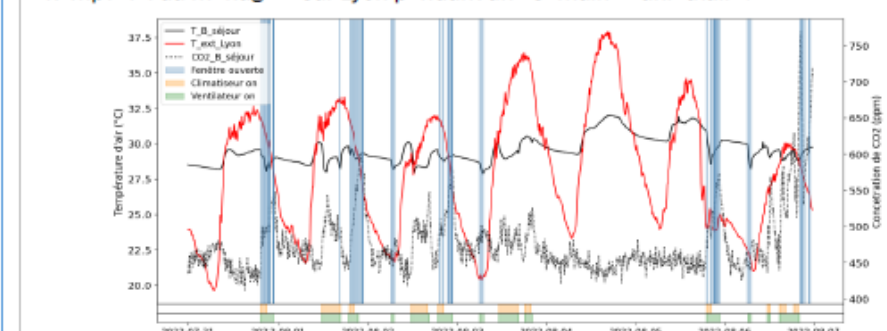


Exemple d'évolution horaire des températures extérieures et températures opératives intérieures sur 3 jours chauds en logements selon les différents scénarios d'ouverture des baies

Campagne de mesure in-situ – Mesures CREATIV

Dans le cadre du projet CREATIV, 2 campagnes de mesures ont été réalisées sur des logements collectifs situés à Lyon, Nantes et une maison individuelle à Clermont-Ferrand durant l'été 2022 et 2023

Ces études de comportements ont permis d'observer le comportement adaptatif, exemple ici du ménage B sur Lyon pendant une semaine caniculaire:



Perception thermique et comportements pendant les canicules

Dans tous les logements de Lyon, l'environnement est perçu comme extrêmement chaud pendant les jours de canicule

Dans la maison à Clermont-Ferrand, le confort est meilleur en été, mais jugé inacceptable pendant les canicules, surtout la nuit

Stratégies communes observées chez tous les ménages :

- Réduction des apports internes (limitation des activités calorifiques)
- Ouverture des fenêtres quand la température extérieure baisse
- Fermeture des protections solaires durant les heures les plus chaudes

Autres comportements d'adaptation :

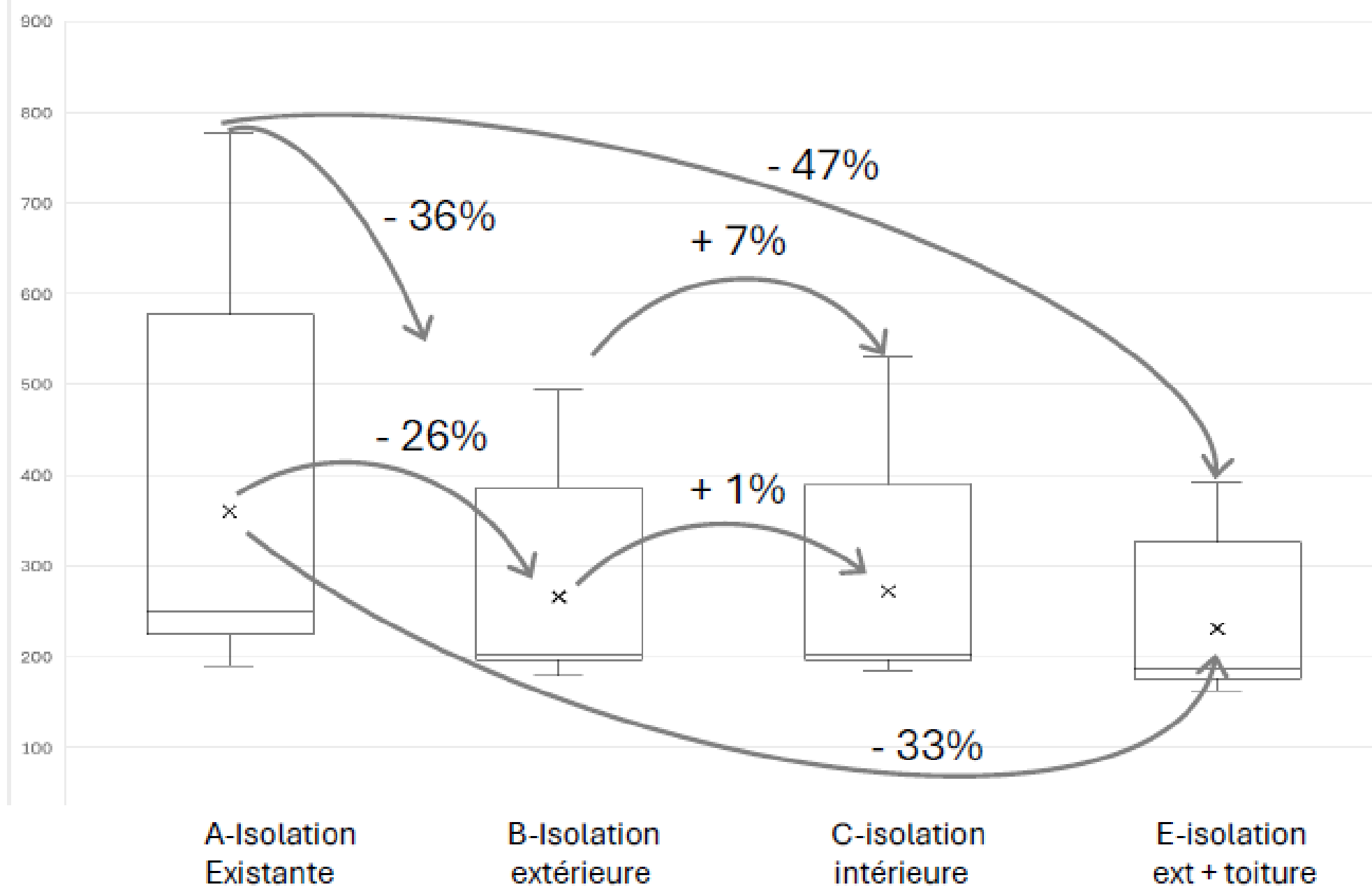
- Surventilation nocturne
- Utilisation de ventilateurs ou de climatiseur
- Départ temporaire du logement ou confinement volontaire
- Évitement de certaines pièces
- Réduction de l'activité physique
- Ajustement des vêtements

CREATIV

Isolation thermique du bâtiment

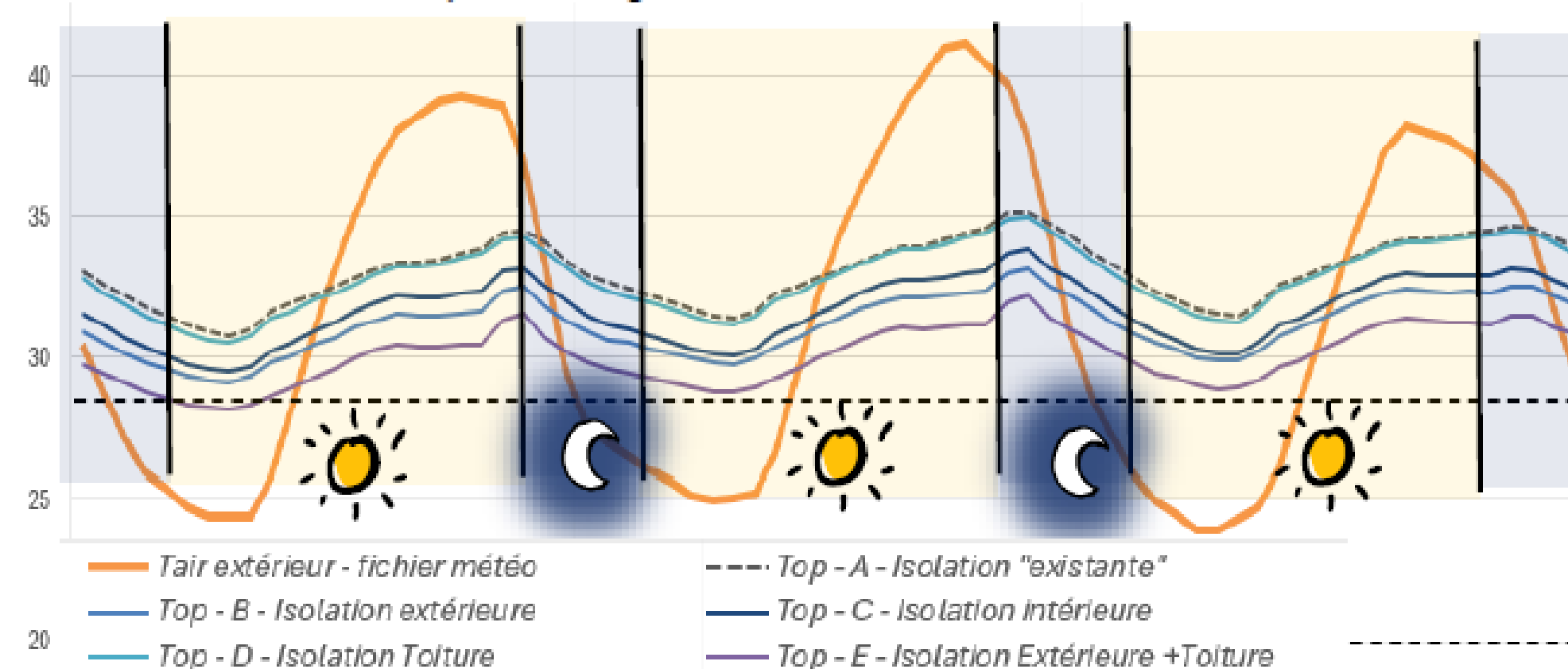
Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV – bâtiment LC69

SOL BAT01 - Box plot du nombre d'heures d'inconfort en occupation selon Givoni à 0m/s selon les différentes variantes d'isolation



Impact de la solution – Exemples « standards »

Chambre – Exemple d'un logement sous toiture sur une semaine chaude



Températures opératives en °C selon les différentes variantes simulées

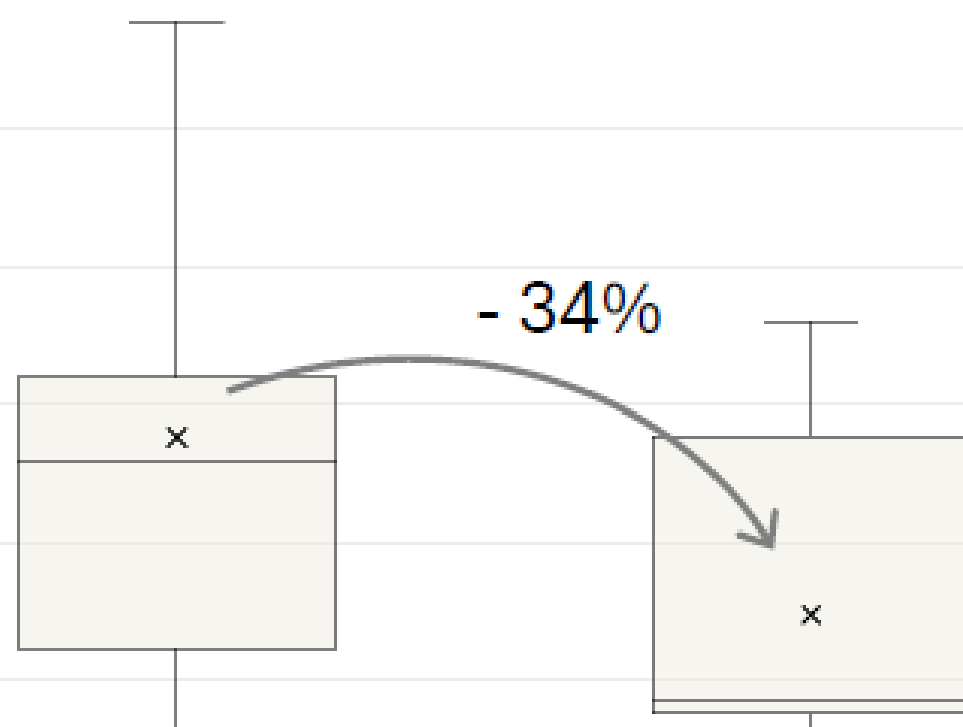
Pièce	Indicateur	Cas de réf.	Sans isol.	Isolation ext.	Isolation int.	Toiture seule
Chambres	Givoni	0,4	3,0	0,8	0,9	2,9
	Adaptatif	0,2	10,3	0,6	2,2	9,7
Séjours / Cuisine	Givoni	6,1	10,9	6,5	6,6	10,8
	Adaptatif	3,6	18,7	5,0	5,6	17,9

Performance des Menuiseries extérieures

Simulé avec un usage « moyen » de protections solaires

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV

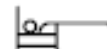
SOL BAT05 - Box plot du nombre d'heures d'inconfort en occupation selon Givoni à 0m/s

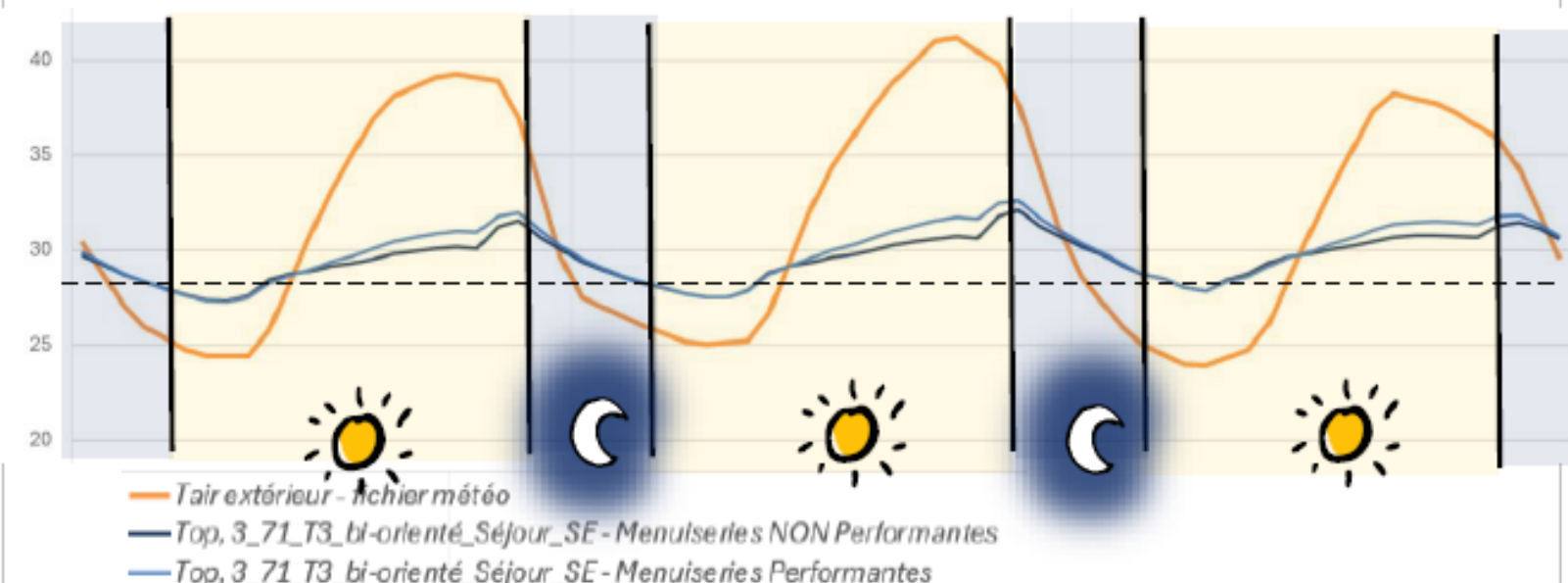


Menuiseries et étanchéité à l'air
NON performante (avant réno)

Menuiseries et étanchéité à l'air
performantes

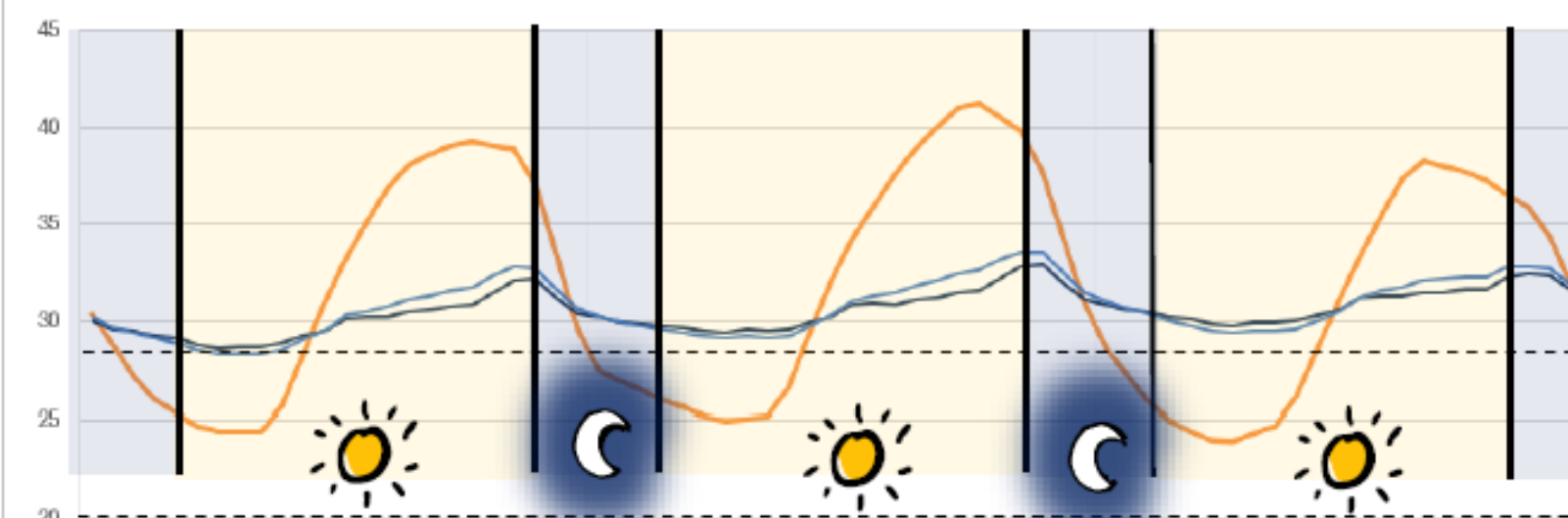
Impact de la solution – Exemples « standards »

Chambre -  - zoom sur une semaine chaude



Températures opératives en °C selon les différentes variantes simulées

Séjour/Cuisine -  - zoom sur une semaine chaude

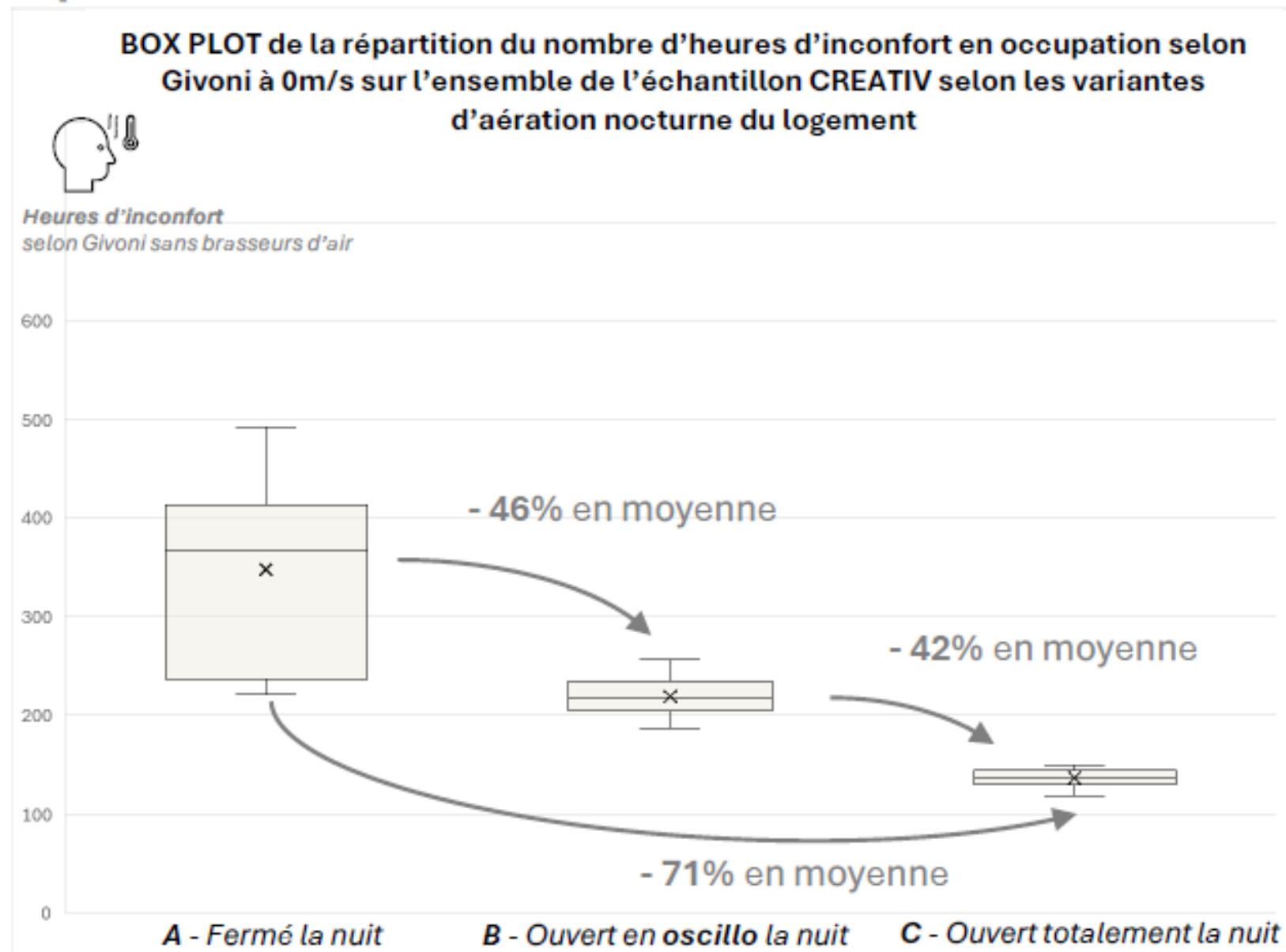


Températures opératives en °C selon les différentes variantes simulées

CREATIV

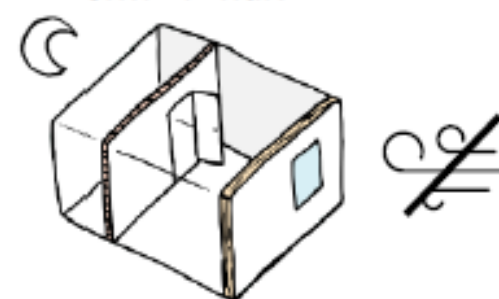
Surventilation nocturne et Menuiseries oscillo-battantes

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV

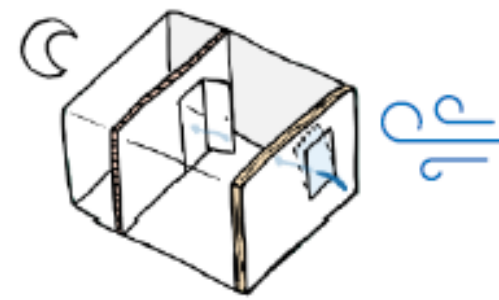


STRATEGIE DE VENTILATION NOCTURNE

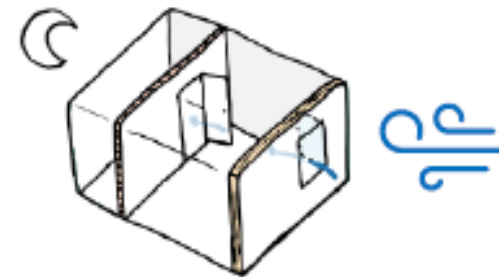
A - Fermé la nuit



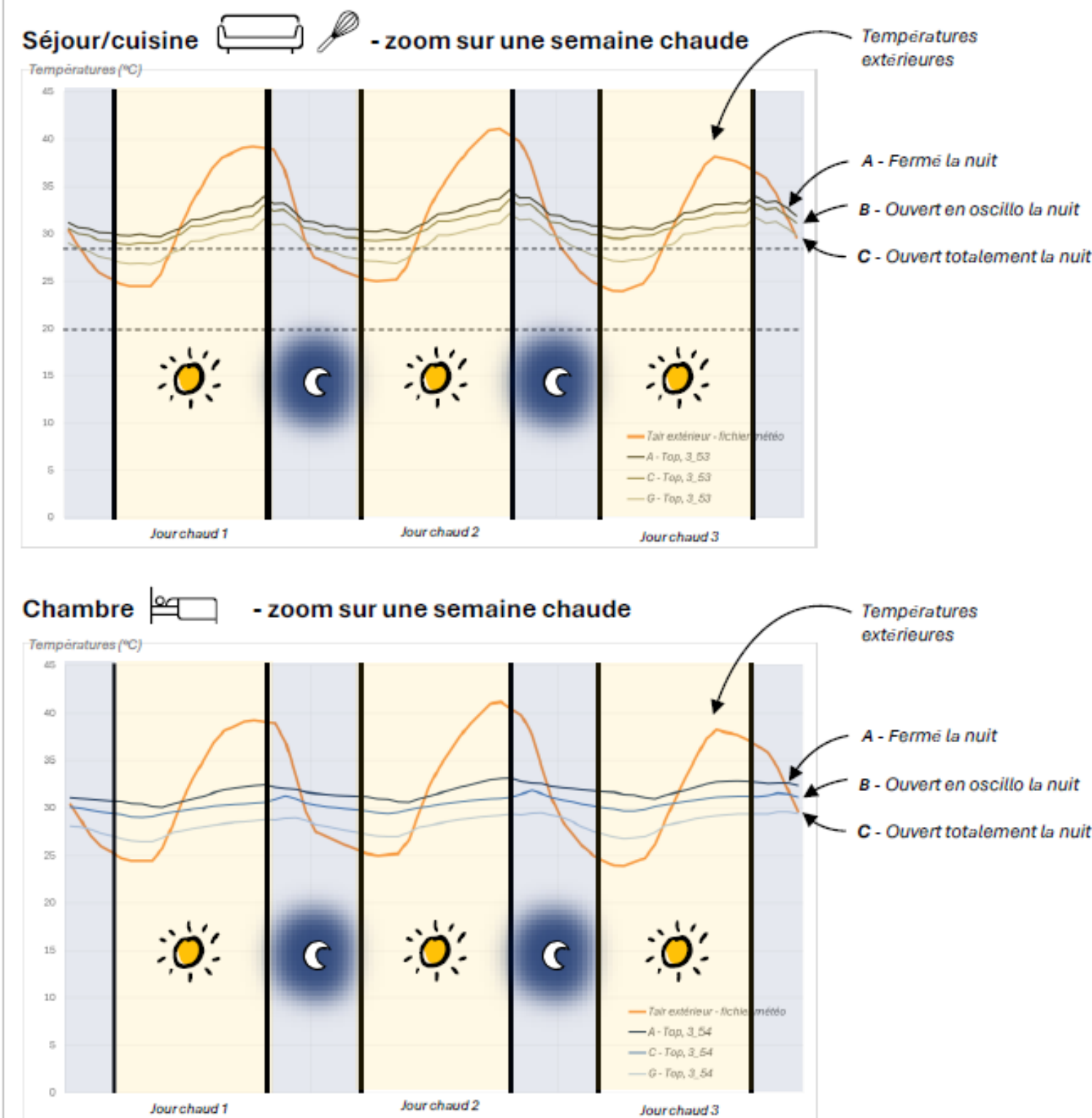
B - Ouvert en oscillo la nuit



C - Ouvert totalement la nuit



Impact de la solution – Exemple « standard »



Exemple d'évolution horaire des températures extérieures et températures opératives intérieures sur 3 jours chauds en logements.

Concernant le niveau de bruit maximal que peuvent supporter les répondants à l'intérieur de leur logement, une majorité d'entre eux indique entre 40 et 65 dB pendant la journée (59,1%) et entre 0 et 40 dB (48,7 %)

Concernant le niveau de pollution maximal que peuvent supporter les répondants à l'intérieur de leur logement, une majorité d'entre eux indique un air pas ou peu pollué pendant la journée et pendant la nuit (respectivement 73,0%et 76,2%)

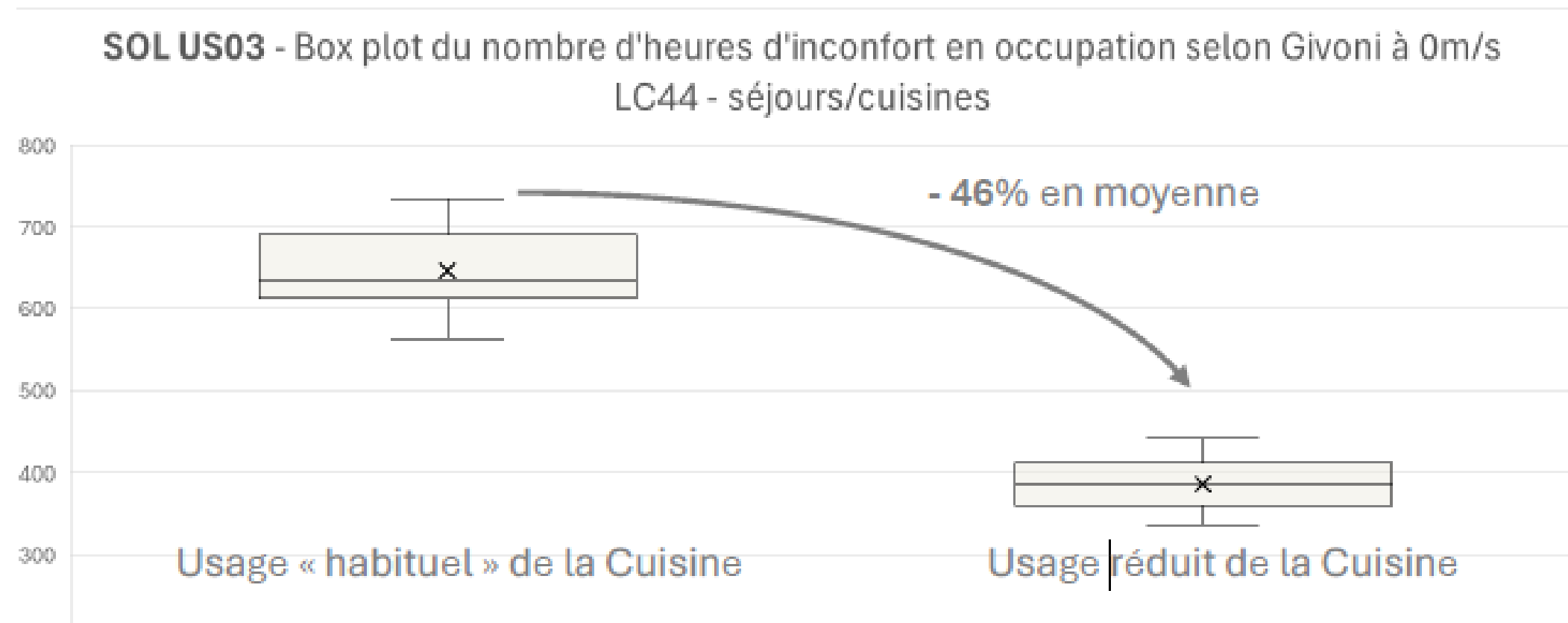
CREATIV

Adaptation du comportement en cuisine

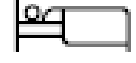
Modélisation et hypothèses de bases – Simulations CREATIV

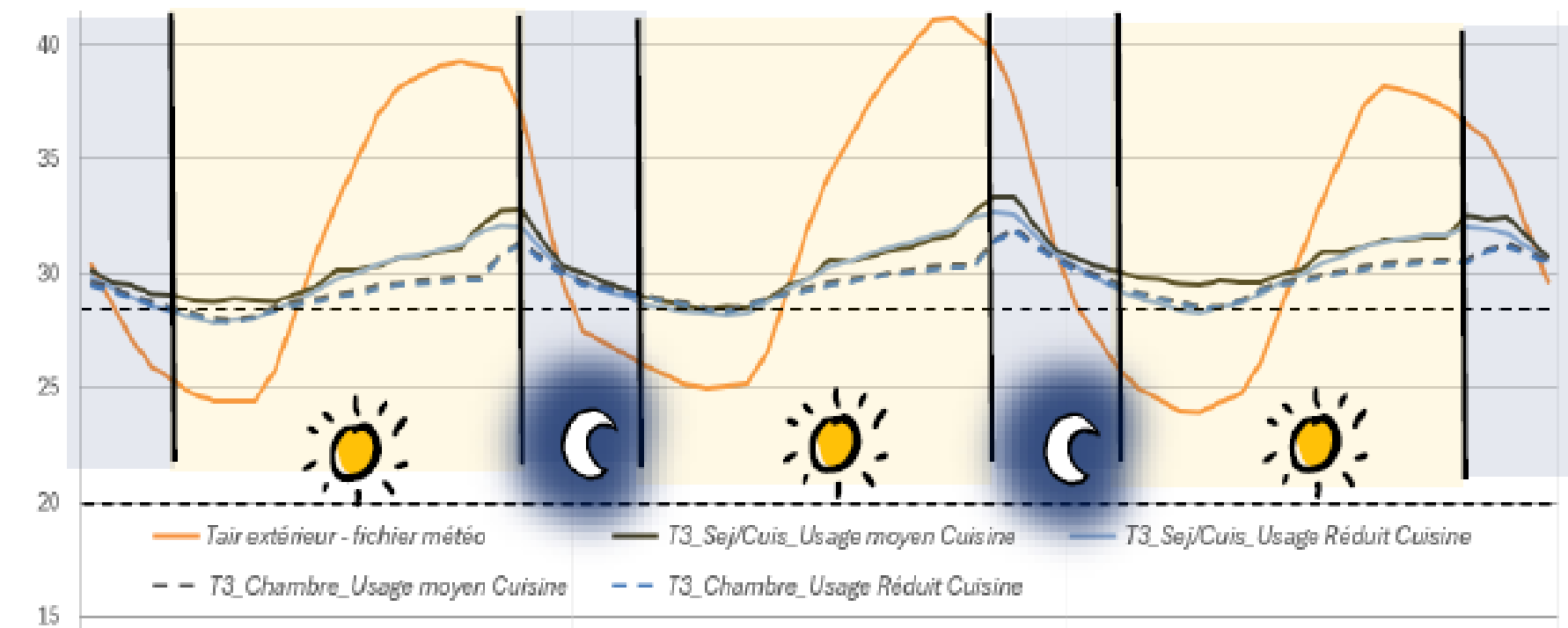
* Le gain de confort a été simulé par modélisation aérodynamique et thermodynamique couplée
Les simulations réalisées prennent en compte une suppression de la cuisson pour le repas du midi et une réduction par 2 de la puissance utilisée pour la cuisson du repas du soir et la réduction par 2 la semaine et par 3 le WE du temps de cuisson

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV – LC44



Exemple « standard »

Séjour/cuisine  Chambre  - zoom sur une semaine chaude



Exemple d'évolution horaire des températures extérieures et température opérative intérieures sur 3 jours chauds en logements

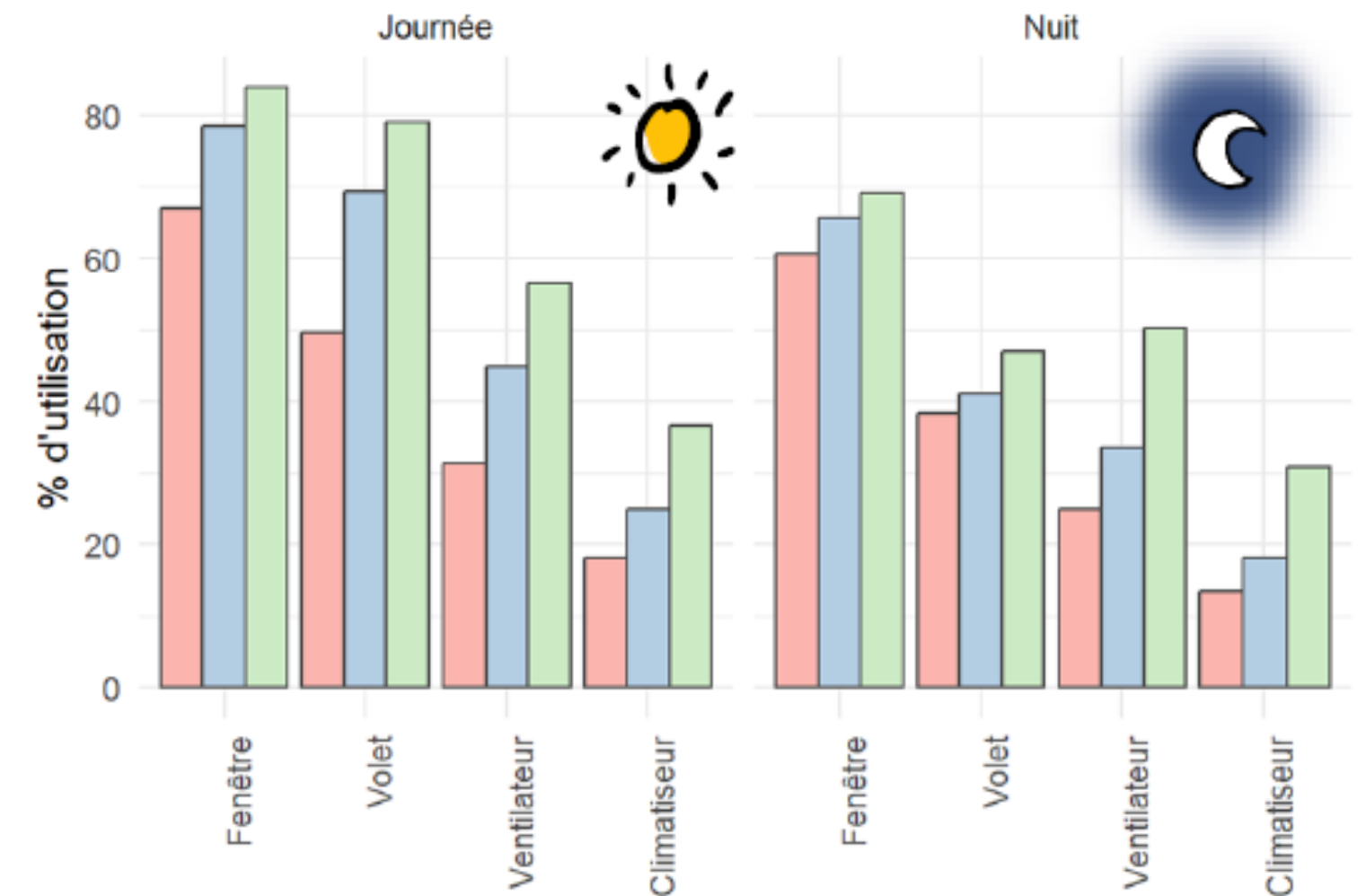
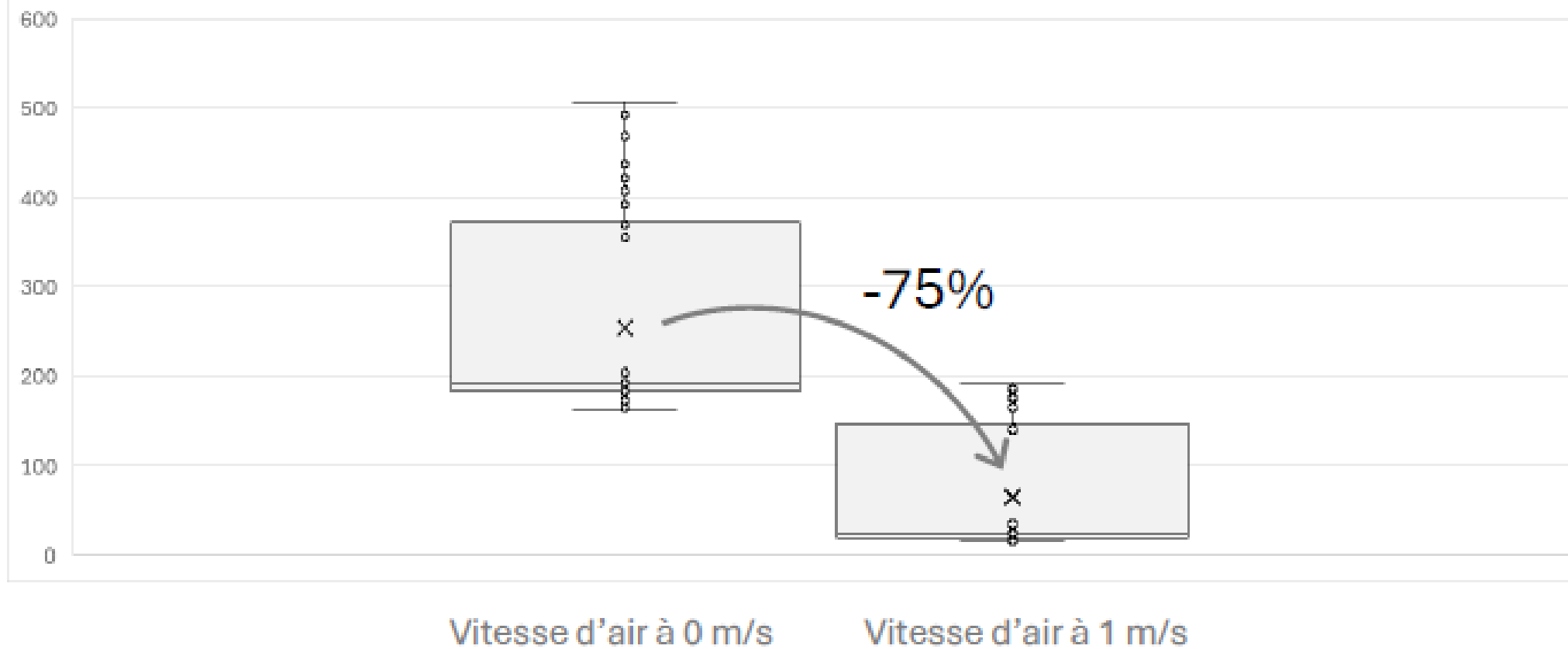


CREATIV

Mise en œuvre de brasseurs d'air

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV

Box plot du nombre d'heures d'inconfort en occupation
selon Givoni à 0 m/s et 1 m/s



Actions en fonction de la période et de la température extérieure du logement

	Température extérieure – Journée (°C)	Température extérieure – Nuit (°C)
Cas 1	[25-30 [	Autour de 15
Cas 2	[30-35 [	Autour de 18
Cas 3	> 35	> 20

Amélioration du contexte micro-climatique

Impact de la solution – Echelle échantillon CREATIV – bâtiment LC44

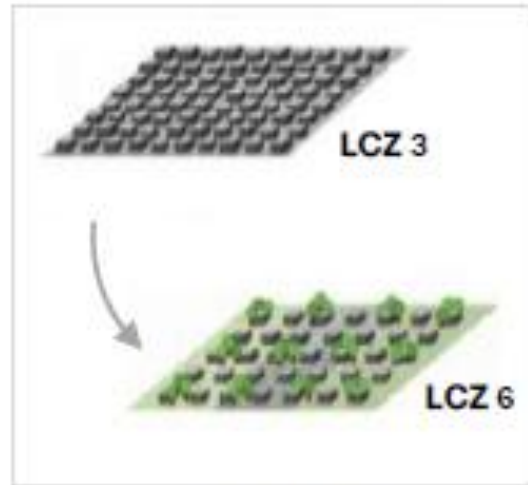


Fig.A – Passage de LCZ 3 à 6

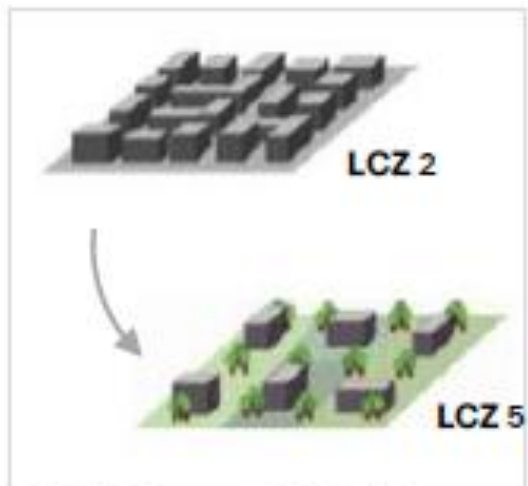


Fig. B – Passage de LCZ 2 à 5

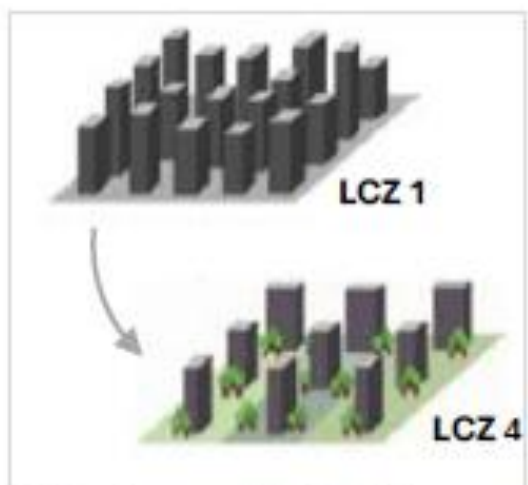
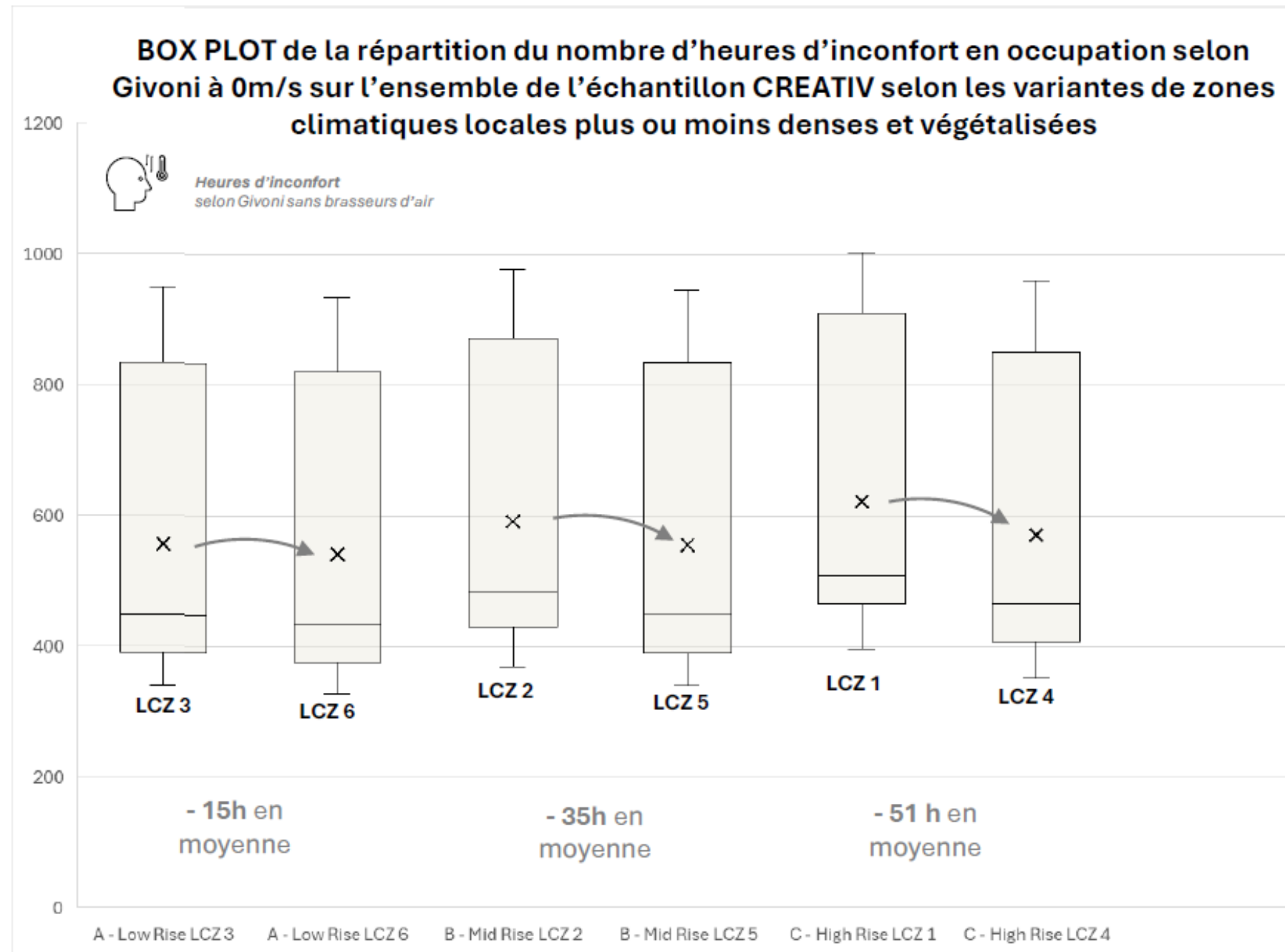


Fig.C – Passage de LCZ 1 à 4



Impact de la solution – Exemple « standard »

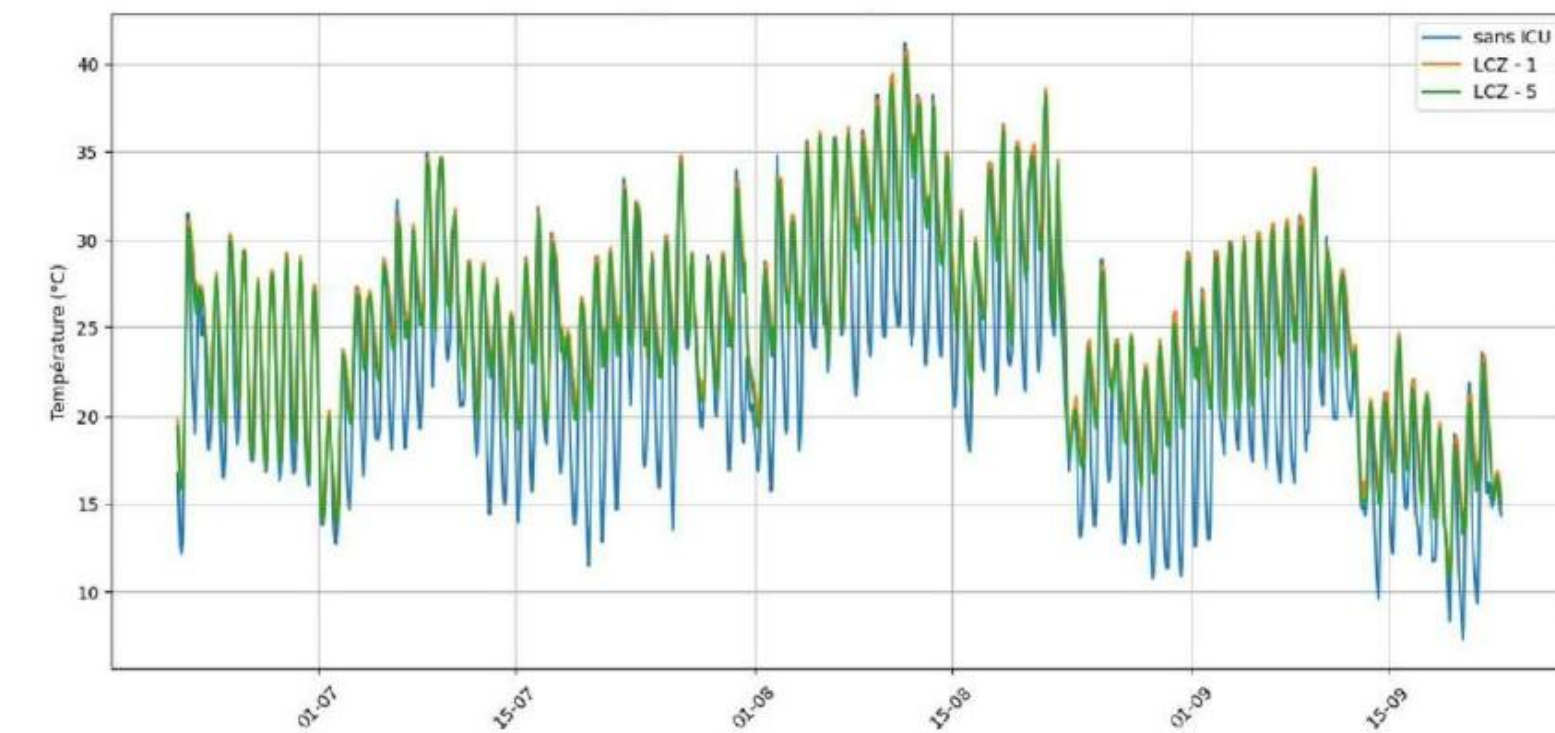
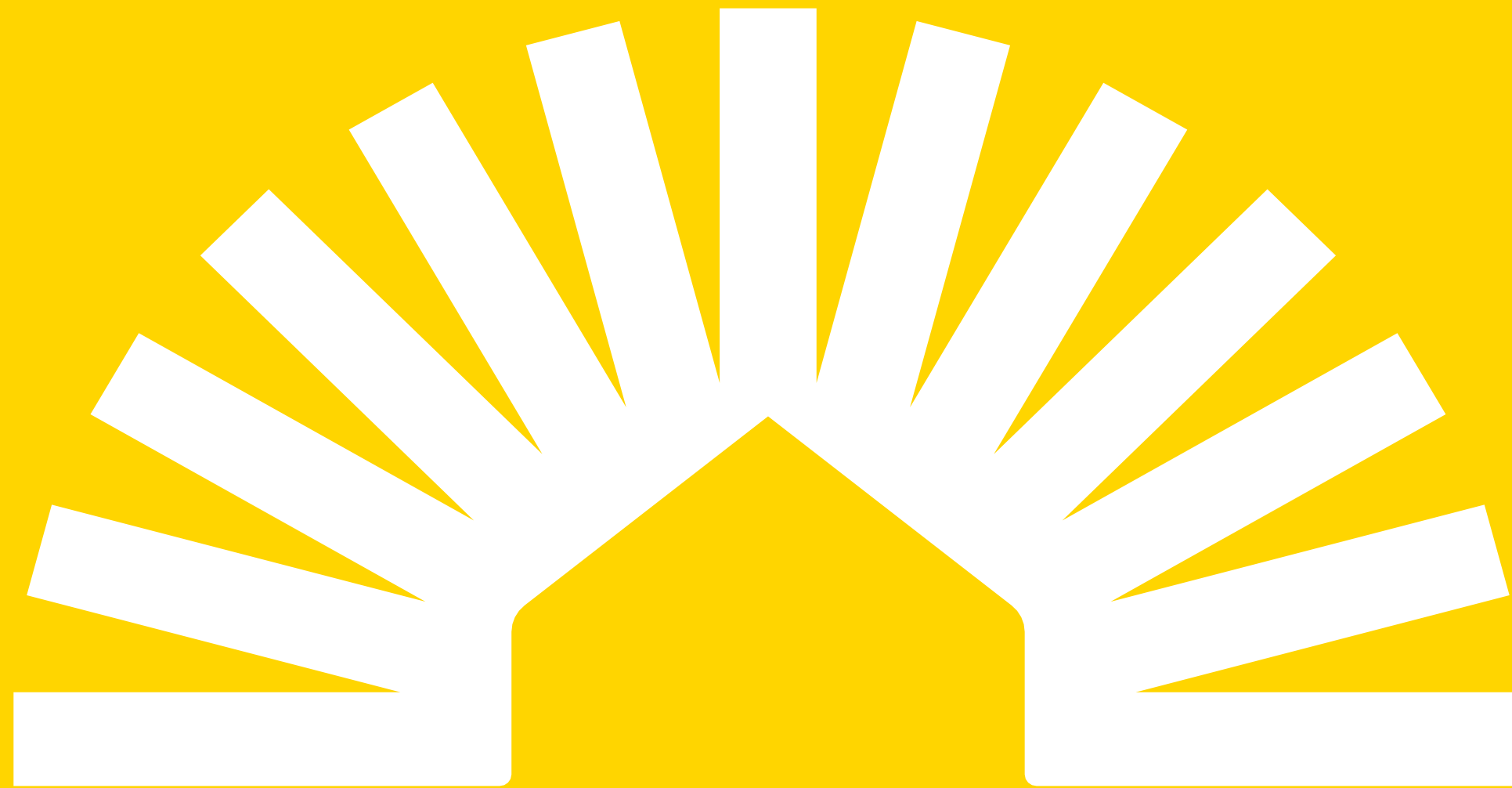


Figure 84: Températures extérieures corrigées par le Modèle UWG selon le LCZ Comme attendu, les températures



envirôbât
OCCITANIE

envirobat**bcm**


ville &
aménagement
durable
(Développons nos pratiques)