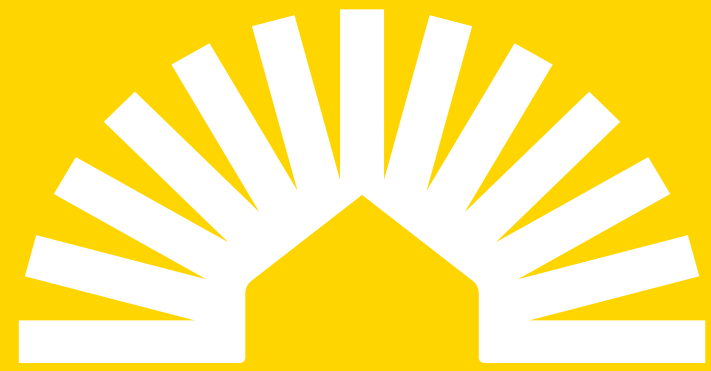




BÂTIFRAIS

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

CONFORT D'ÉTÉ ADAPTATION FRUGALE



un événement organisé par

envirôbât
OCCITANIE

envirobatbcdm

ville & aménagement
durable
(R)éveillons nos pratiques





RACINE : Vers des écoles résilientes

Des diagnostics aux pistes d'action



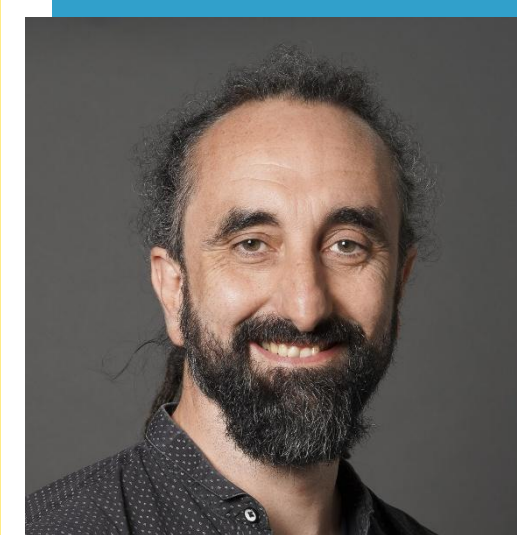
**Tangi LE
BERIGOT**

SURYA INGENIERIE
Directeur général



**Amaury
FIEVEZ**

ACTEE
Doctorant / Pilote du
projet RACINE



**Frédéric
BOEUF**

SURYA INGENIERIE
Président

RACINE

L'objectif : Déployer et évaluer des démarches low-tech dans les écoles primaires pour faire face aux vagues de chaleur

- **Pilotage et financement :** ACTEE FNCCR
- **Opérateur :** SURYA Ingénierie
- **Durée :** mai 2025 – décembre 2027



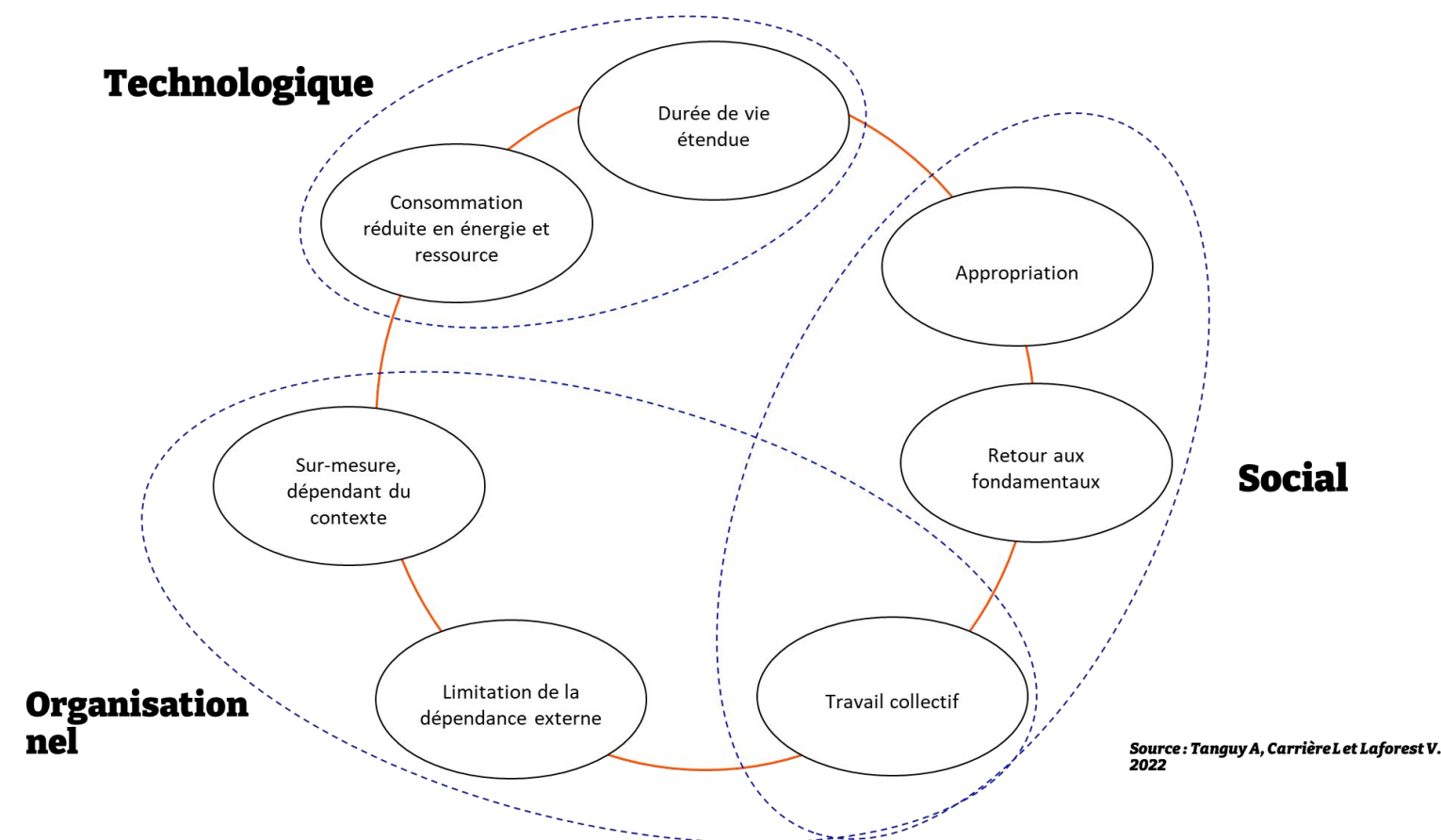
Action des Collectivités
Territoriales pour
l'Efficacité Énergétique



RACINE

Les particularités :

- Une combinaison : Une école / Un référent local / Un collectif de référents / Une équipe de pilotage / Un ensemble d'acteurs locaux (*élus, enseignants, services techniques, etc.*)
- Un projet de recherche-action





RACINE

30 écoles, 30 collectivités, 30 référents et référentes, 30 contextes



Les principes de RACINE

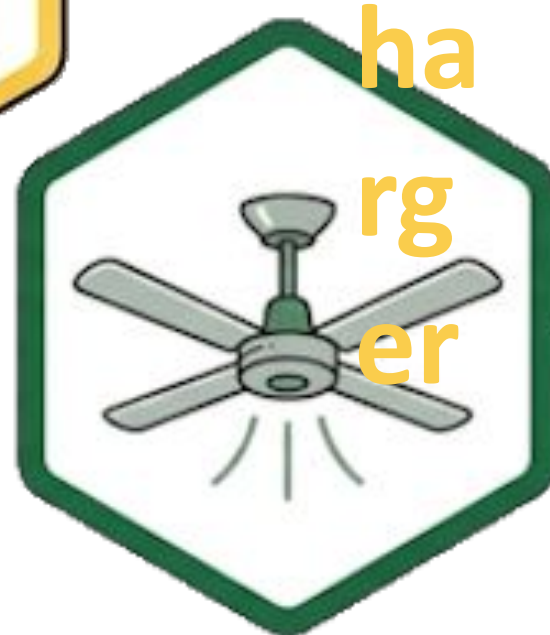
Port
er



Prot
ég
er



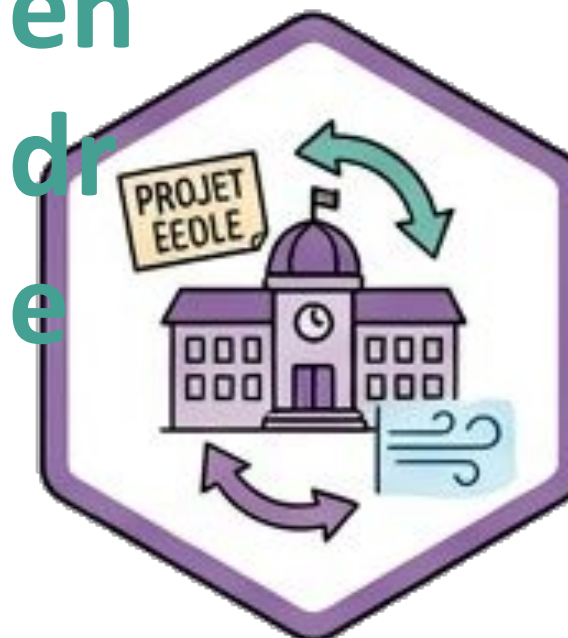
Déc
ha
rg
er



Rafr
ai
ch



Com
pr
en
dr
e



Ancr
er



S'ap
pr
op

La méthode

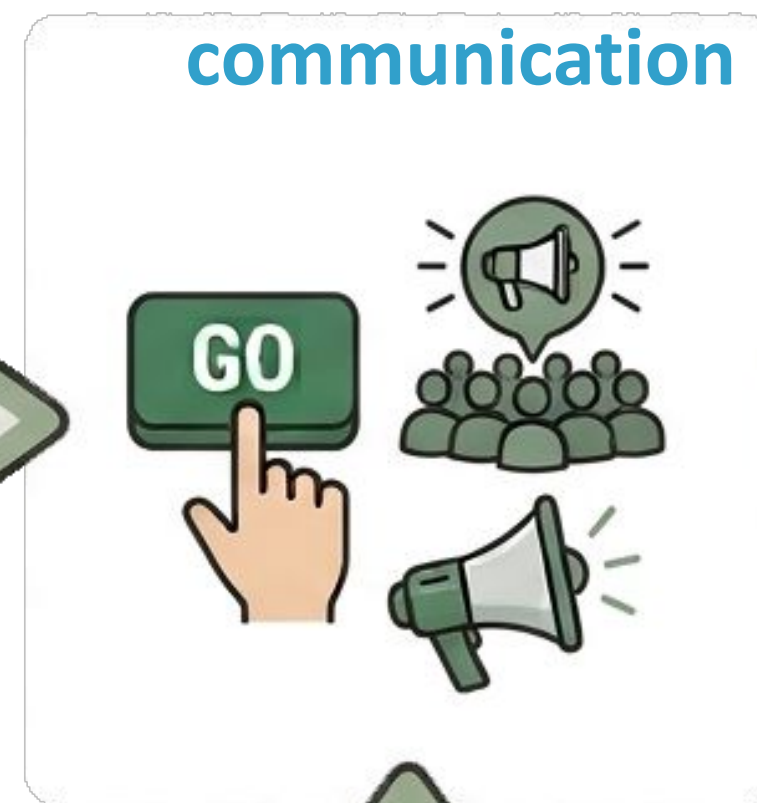
Phase 1 : Diagnostic



Phase 2 : Formation et définition du plan d'action



Phase 3 : Mise en œuvre et communication



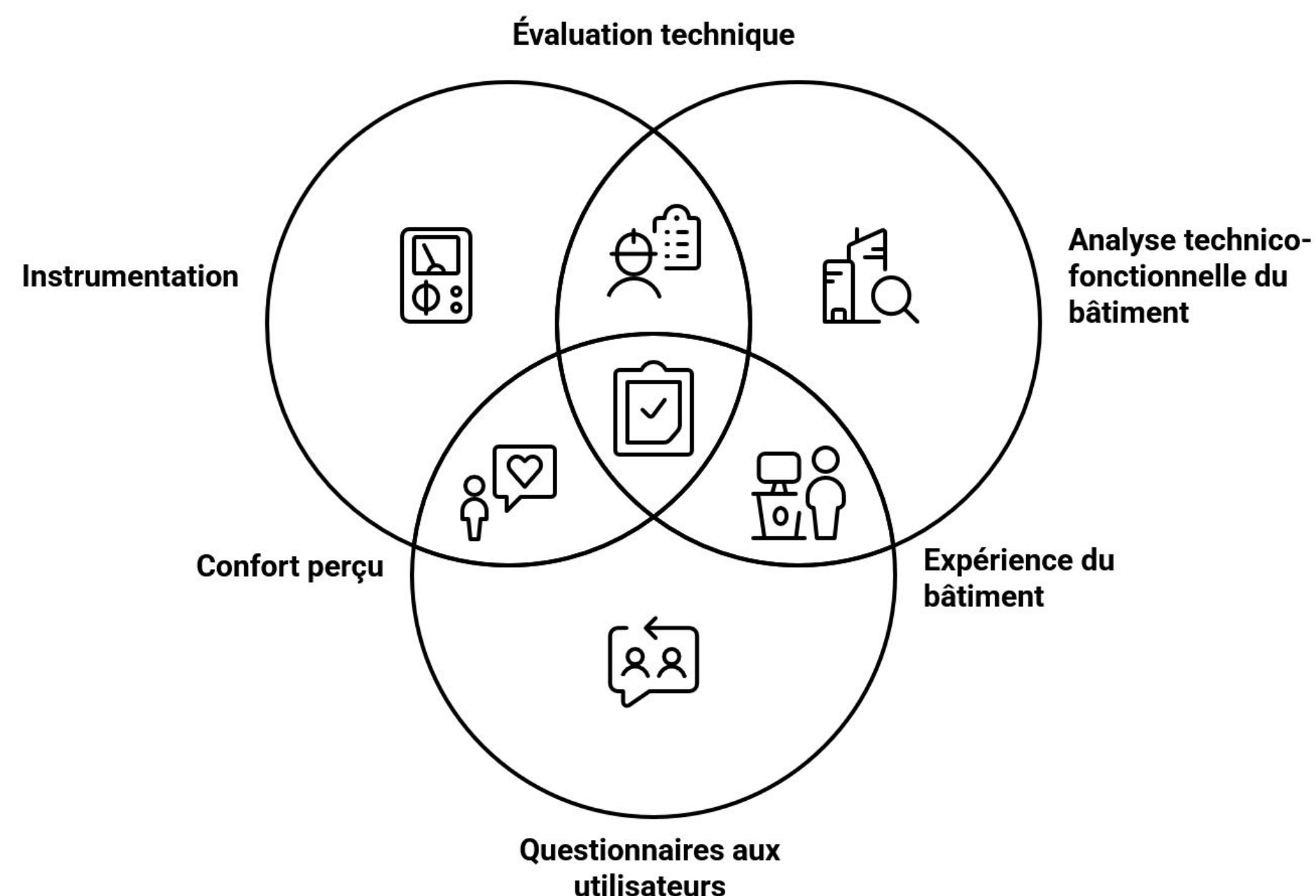
Phase 4 : Observation des résultats



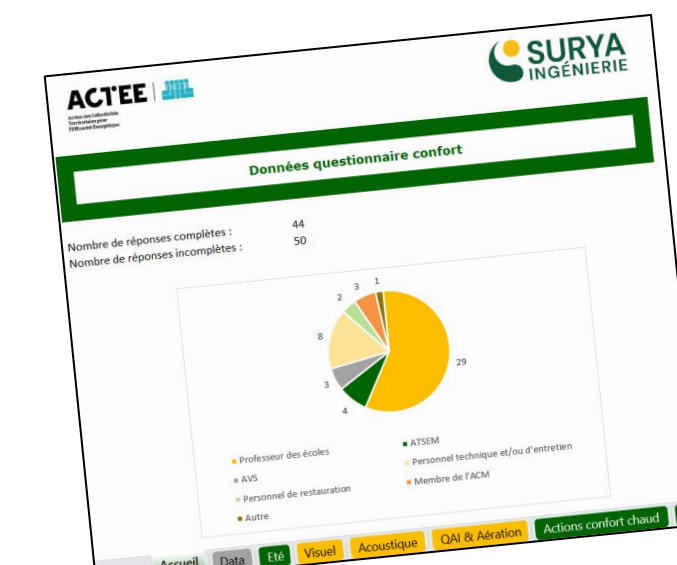
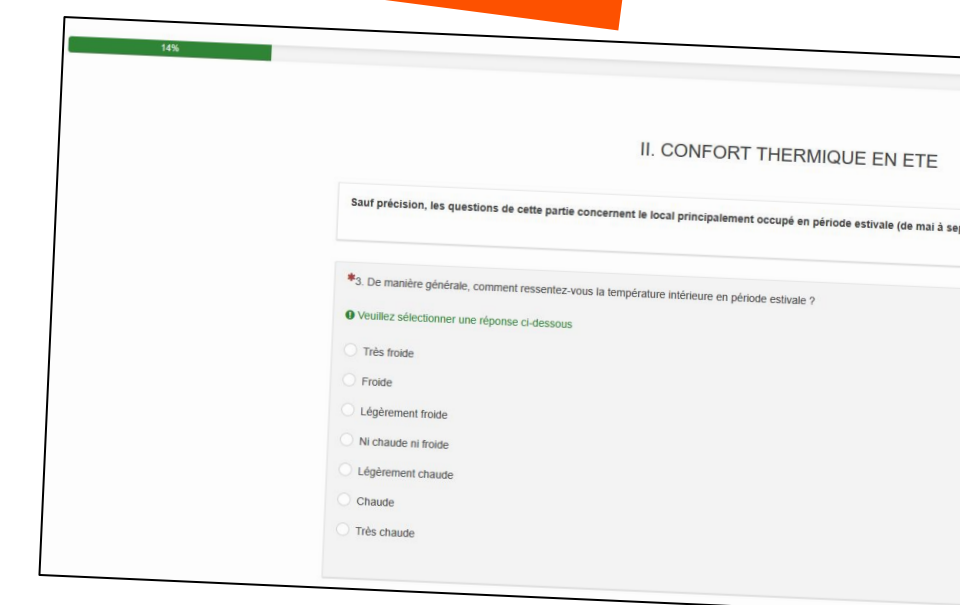
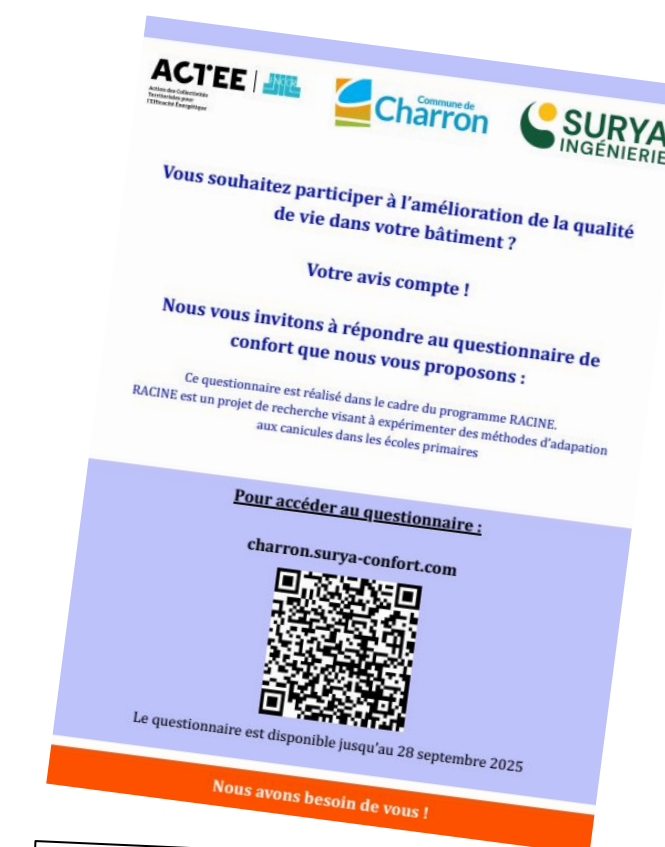


Phase 1 : Diagnostic

Le POE : l'évaluation intégrée des bâtiments



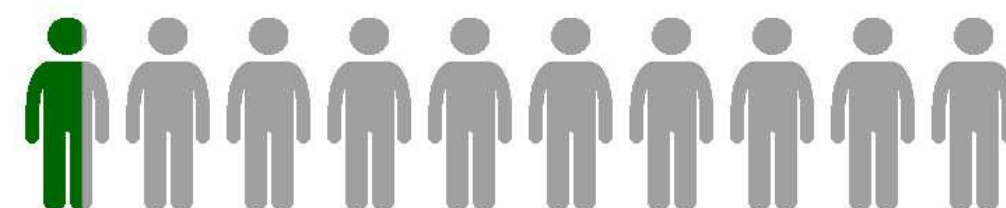
© SURYA Ingénierie



Phase 1 : Diagnostic

Résultats POE 2025 :

- 220 réponses (adultes) – 79% des usagers



7% des répondants se disent globalement en situation de confort en période estivale

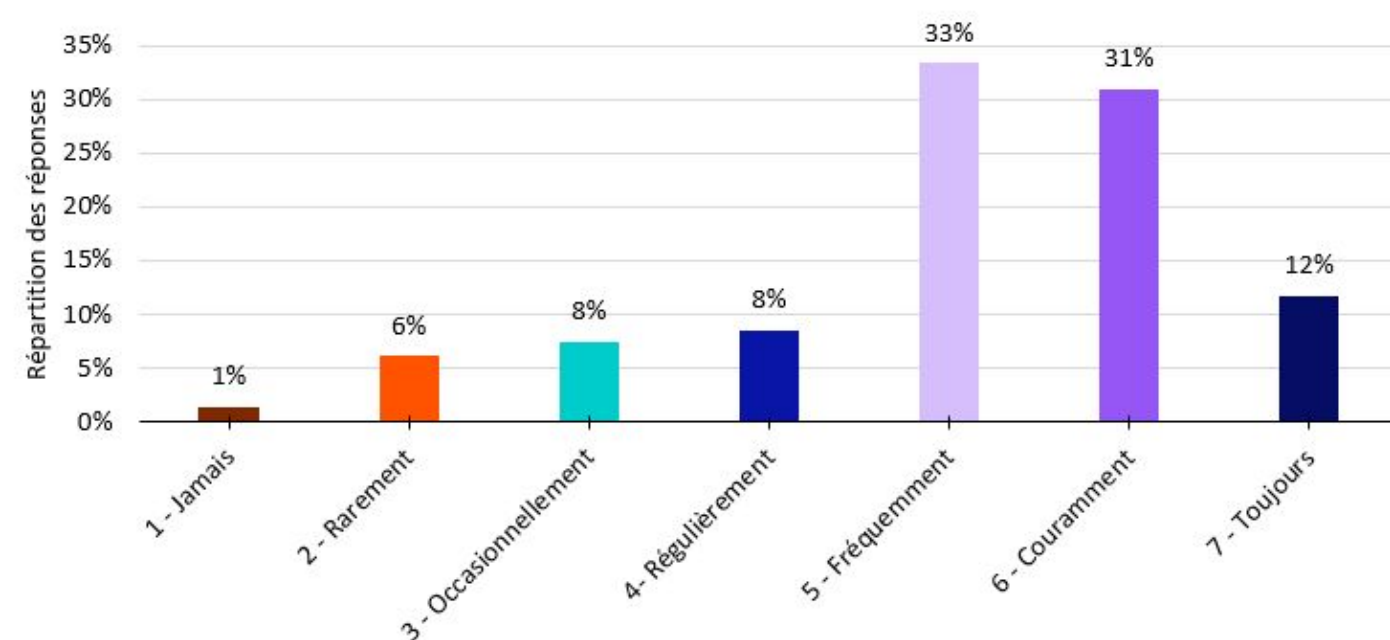


Figure 18 : En été, ressentez-vous une gêne importante relative au niveau de température intérieure (trop faible ou trop importante) ? [% de répondants - 220 réponses]

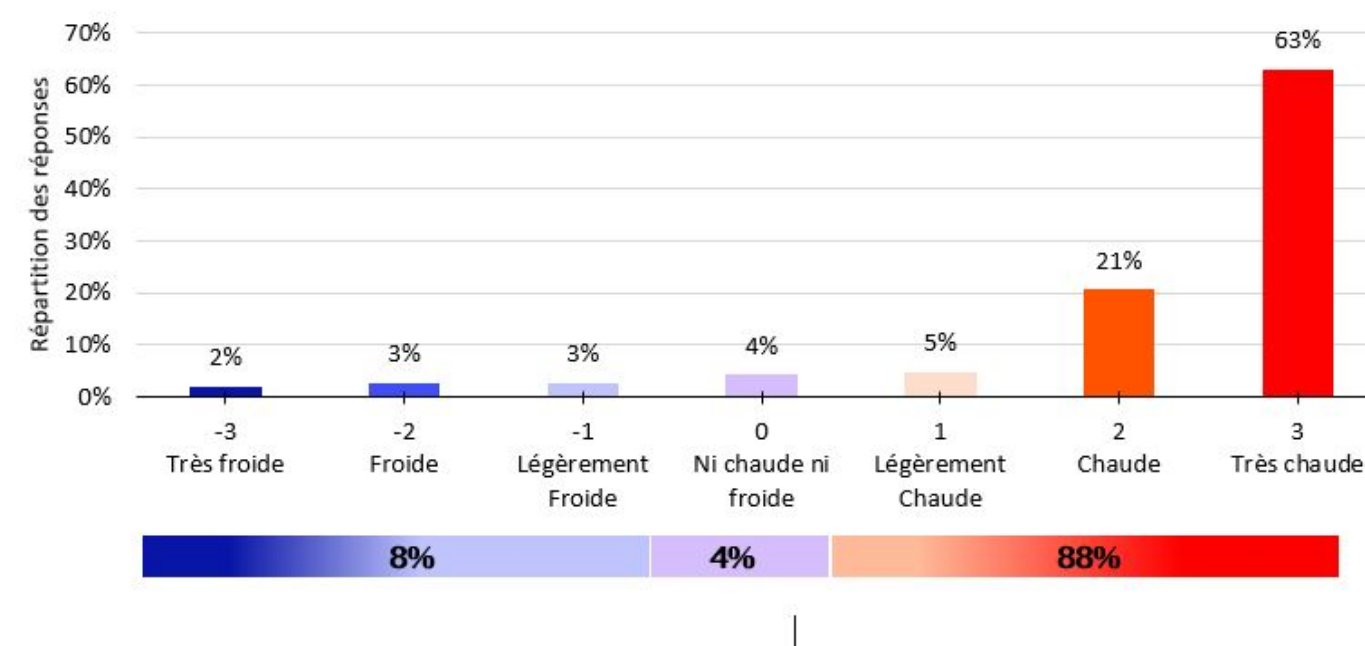


Figure 17 : De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en été ? [% de répondants - 220 réponses]

Plus d'info sur l'article : Observer pour agir : campagne nationale d'instrumentation du parc scolaire face au changement climatique – PROGRAMME RACINE
ACTEE – SURYA Ingénierie - 2025

Phase 1 : Diagnostic

Et 2026?

Premiers résultats sur 15 écoles de RACINE 2 :

- **4 702** votes instantanés :
 - 13% d'adultes / 87% d'enfants
 - 87% d'écoliers en élémentaire et 13% en maternelle

Comment jugez-vous l'ambiance thermique en ce moment ?

	Confortable
	Légèrement inconfortable
	Inconfortable
	Très inconfortable
	Extrêmement inconfortable



Phase 1 : Diagnostic

- Les enfants se disent en confort avec une température moyenne de **26,2°C**, les adultes **25°C**.
- Et 'extrêmement inconfortable', en moyenne, pour les enfants à **28,8°C** et les adultes **28,7°C**.

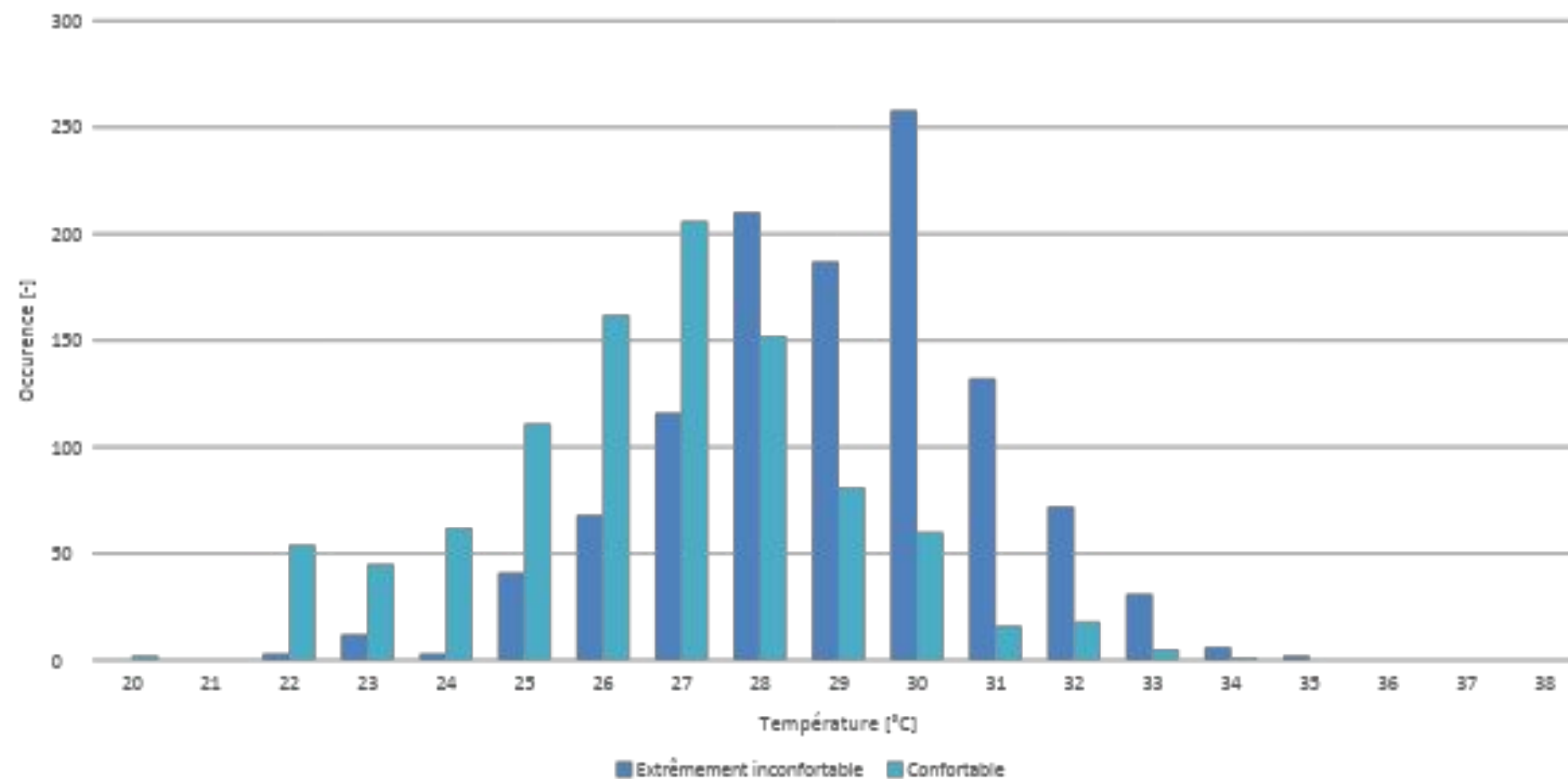


Figure : Répartition des votes des enfants en fonction de la température intérieure au moment du vote

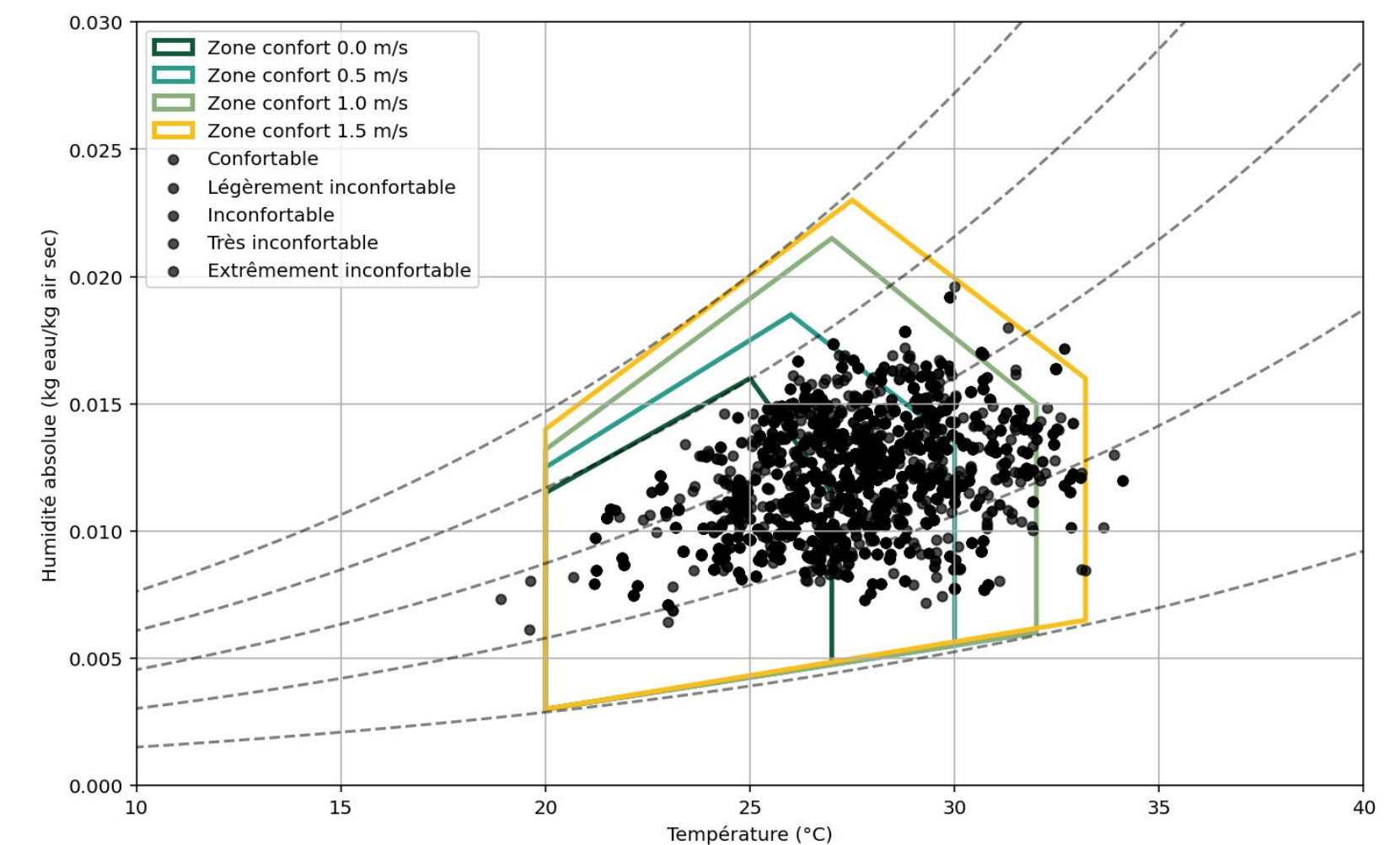


Figure : Diagramme dit de Givoni — Votes des enfants - Ensemble des écoles
[4073 réponses entre le 1er juin et le 4 septembre 2026]

© SURYA Ingénierie

Phase 1 : Diagnostic

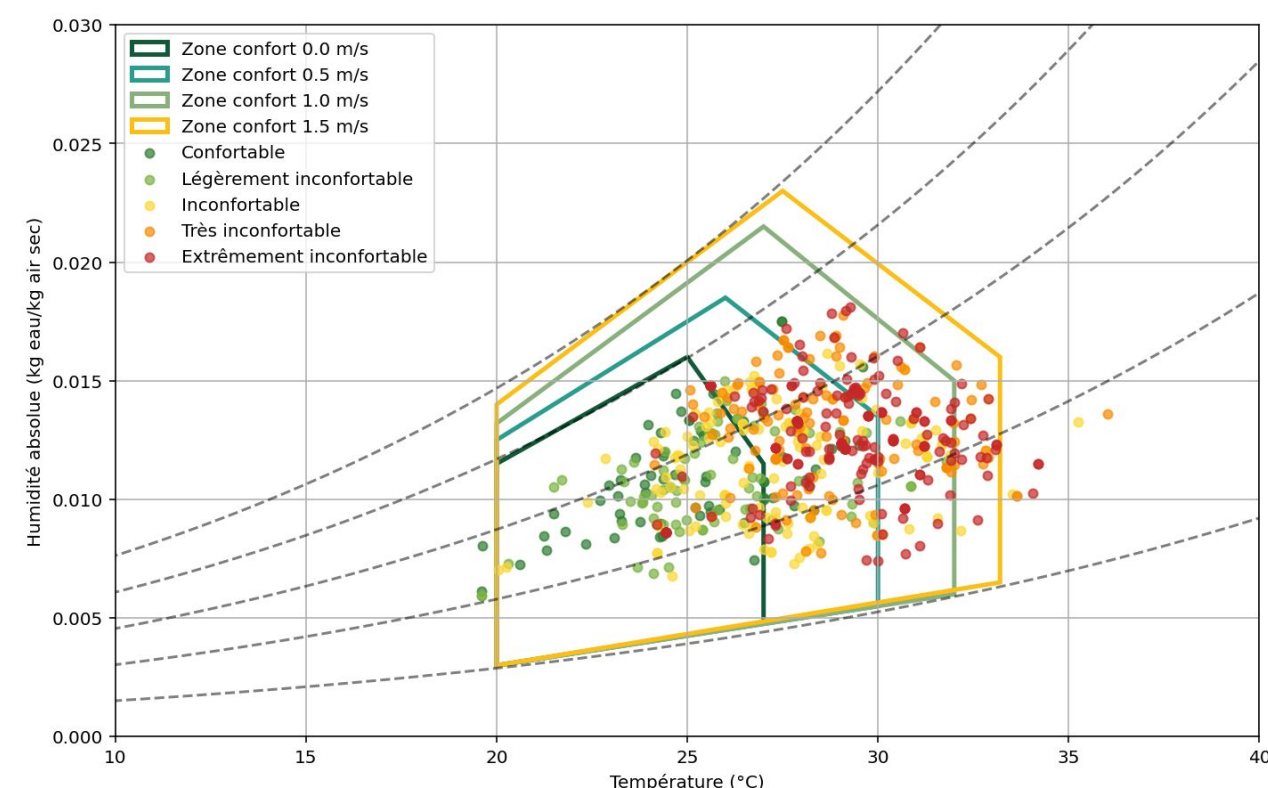


Figure : Diagramme dit de Givoni — Votes des adultes - Ensemble des écoles
[629 réponses entre le 1er juin et le 4 septembre 2026] © SURYA Ingénierie

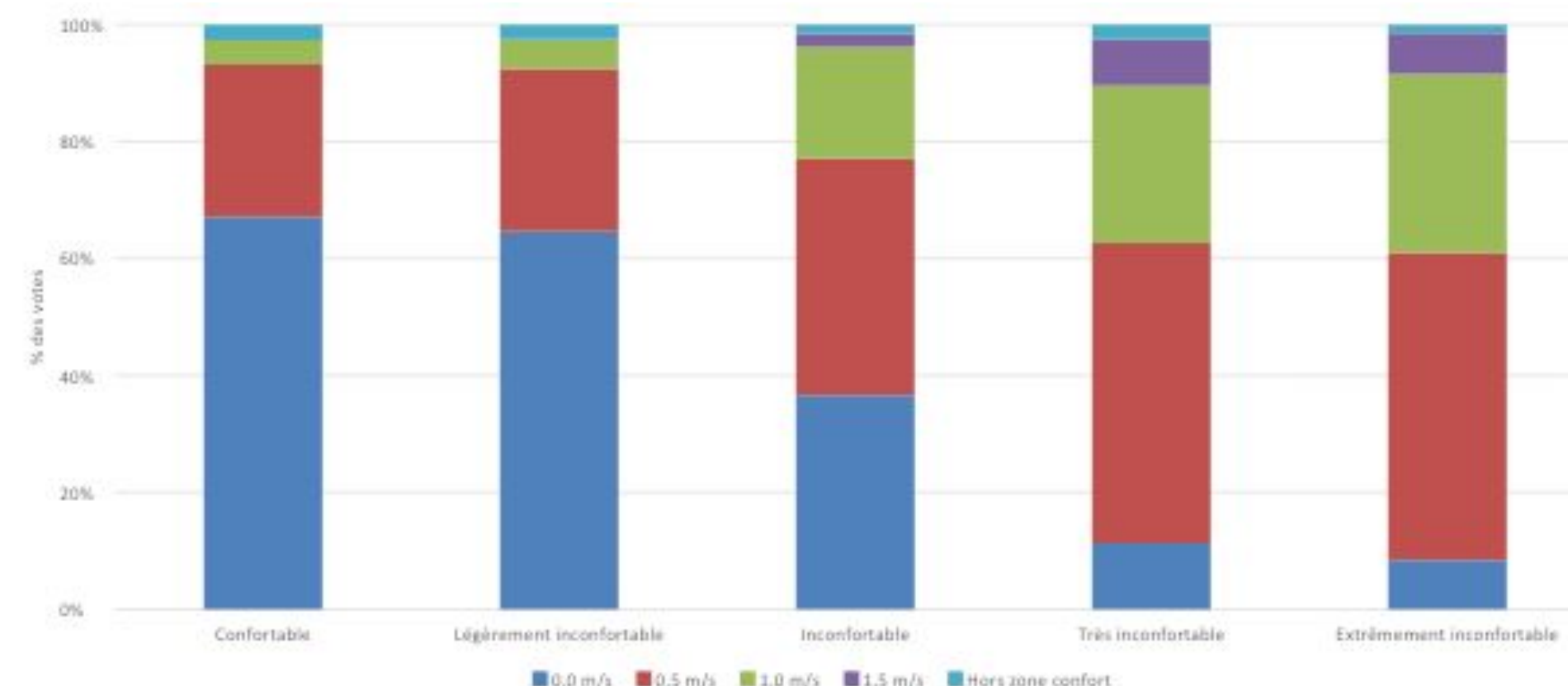
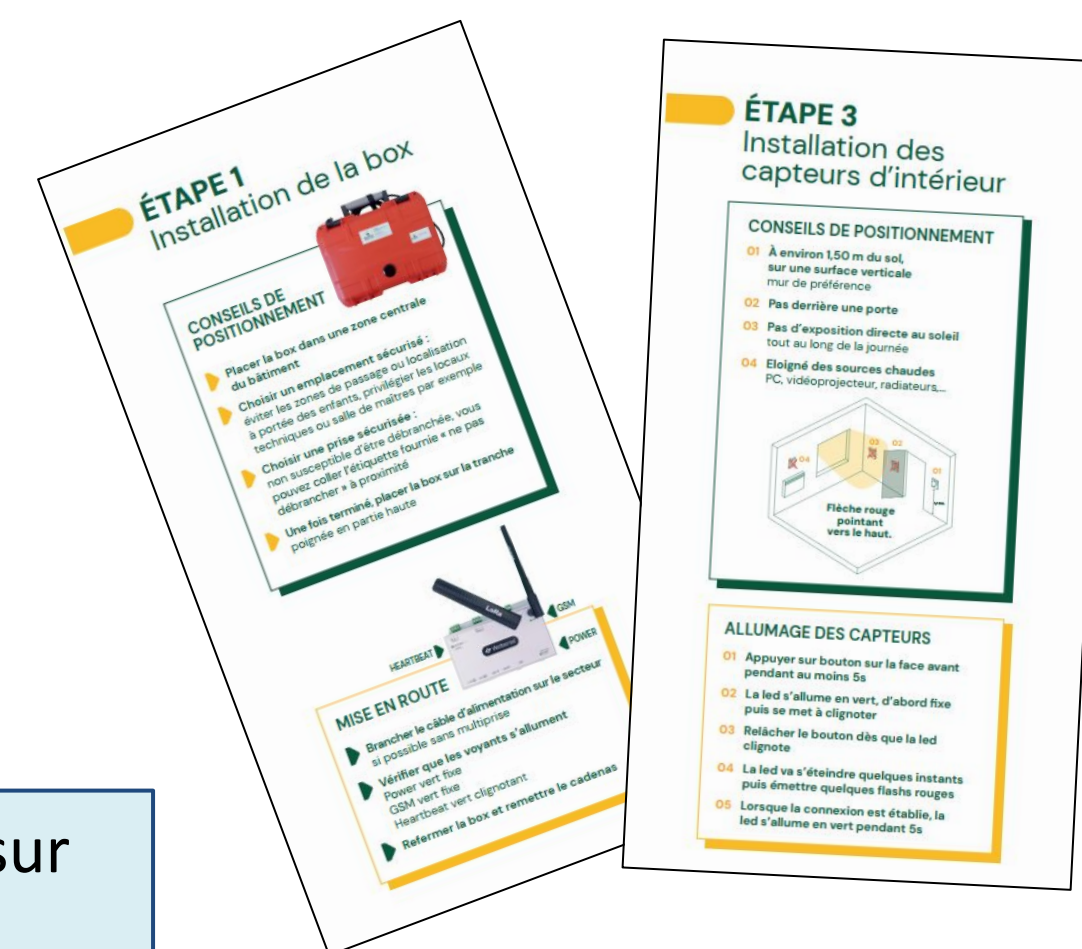


Figure : Répartition des votes par vitesse d'air - Votes Adultes

- La donnée doit encore être consolidée (présence ou non de vitesse d'air notamment)
- Le diagramme dit de Givoni, des limites?
 - Dans l'ensemble les zones sont respectées,
 - Mais quid de l'impact du rayonnement sur la sensation de confort? De l'activité? De l'heure de la journée? Etc.

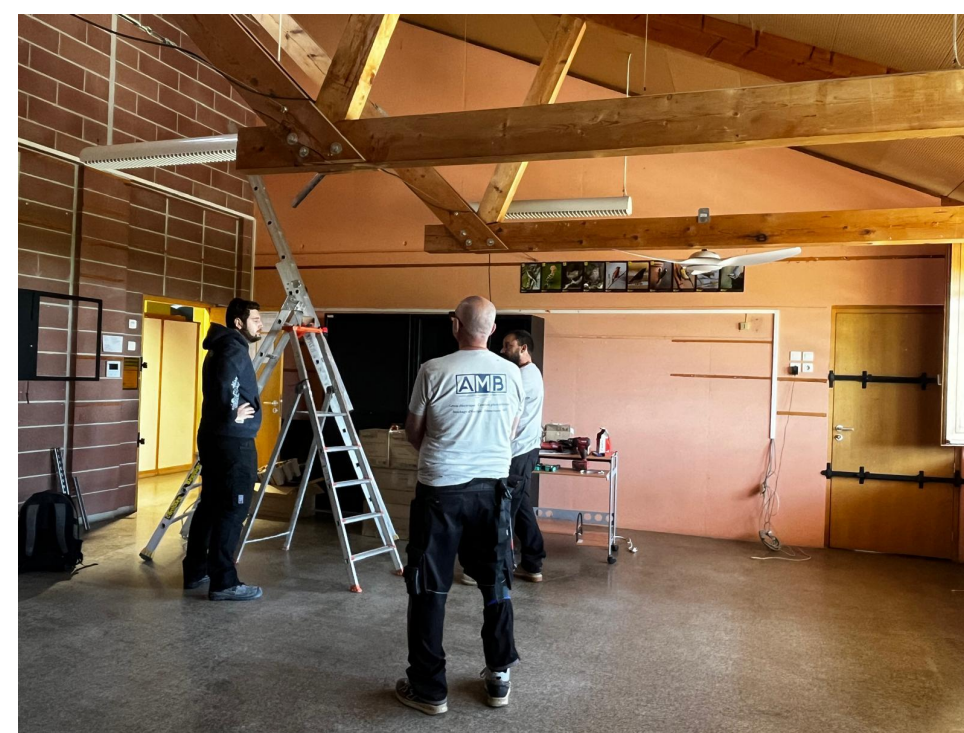
Phase 1 : Diagnostic

- 2 campagnes de mesure, 30 écoles instrumentées
- Durée : de mai 2025 à septembre 2027
- RACINE 1 :
 - 81 capteurs d'ambiance (température et humidité)
 - 15 stations météo
- RACINE 2 :
 - 119 capteurs d'ambiance (température et humidité)
 - 15 stations météo
 - 150 capteurs de feuillure
 - 30 boîtiers de vote



Taux de récupération de la donnée sur
RACINE 2 : 98 - 100%

RACINE 1 : que s'est-il passé?



RACINE 1 : que s'est-il passé?

- Des premiers résultats positifs lorsqu'il y a des actions.
- Fin de la deuxième campagne d'observation : 14/09/2026
- Mesure du ressenti en cours

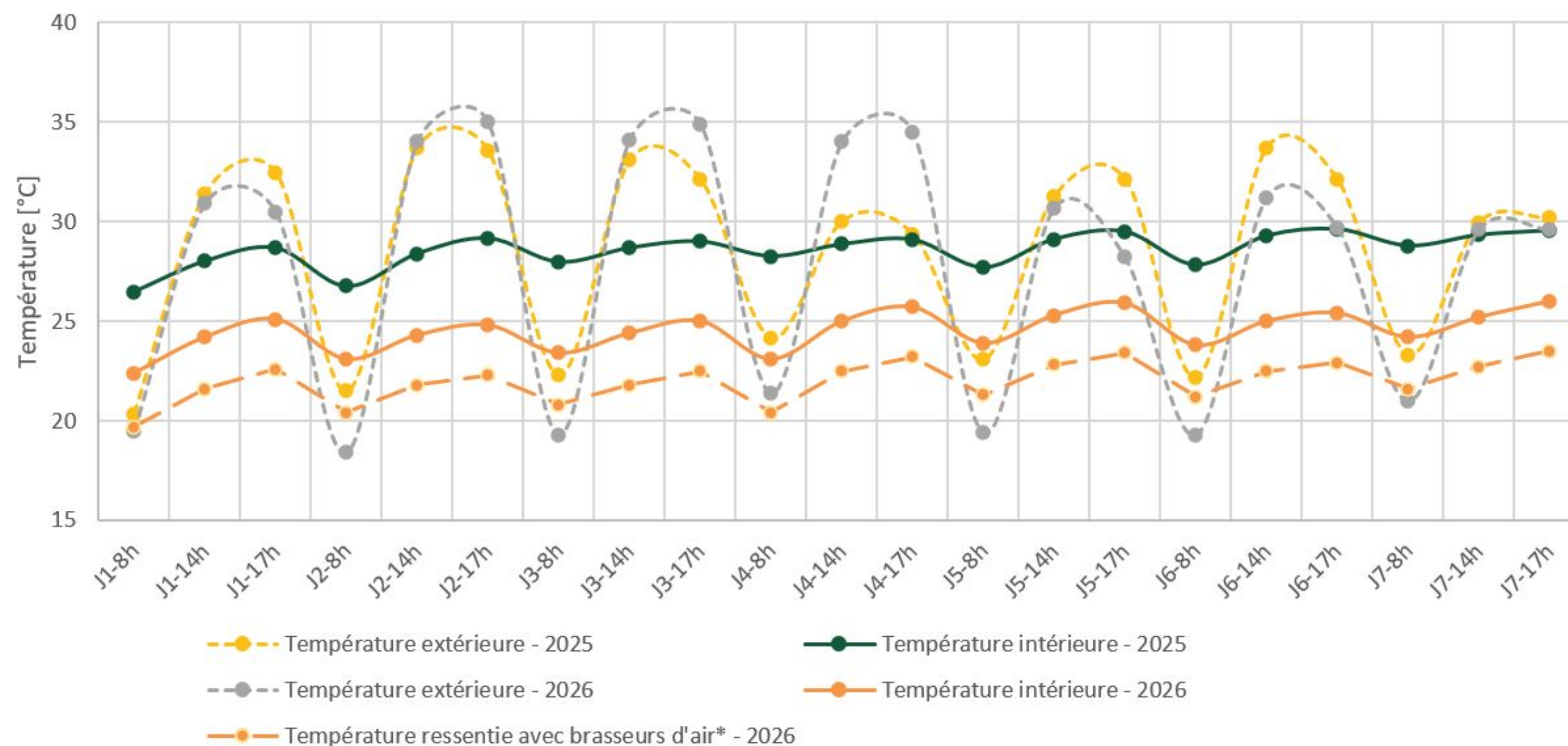


Figure : Evolution des températures dans une classe sur une séquence météorologique similaire avant et après RACINE

* Température ressentie calculée pour une activité moyenne et un habillement de l'utilisateur en short et t-shirt

RACINE 1 : que s'est-il passé?

Mais RACINE 1, ce n'est pas que des transformations...

Les raisons identifiées :

- Des freins conjoncturels : planning de programme contraint, tenue des élections municipales, etc.
- Des freins structurels : longueur du temps politique, complexité administrative, absence de financement, etc.
- Un été 2025 moins brutal que 2026...



RACINE 1 : les réactions pour RACINE 2

- Optimiser le planning programme,
- Impliquer tous les acteurs, à commencer par le politique,
- Accompagner la construction sociale incluant la création d'une équipe projet locale,
- Inclure la conduite de projet adaptée au contexte,
- Etc.



Synthèse de l'année 1

- Une formation et un accompagnement perçus comme correspondants aux objectifs,
- Pas/peu de freins techniques,
- Une nécessité de 'faire équipe' avec des définitions différentes suivant les contextes,
- Un besoin accru de former les usagers.

Un été 2026 qui change la donne?

- Comment agir?
- Est-ce qu'une approche low-tech est suffisante?
- Et pourquoi certains bâtiments neufs/rénovés souffrent-ils de vagues de chaleur?
- Etc.

Et si on testait?

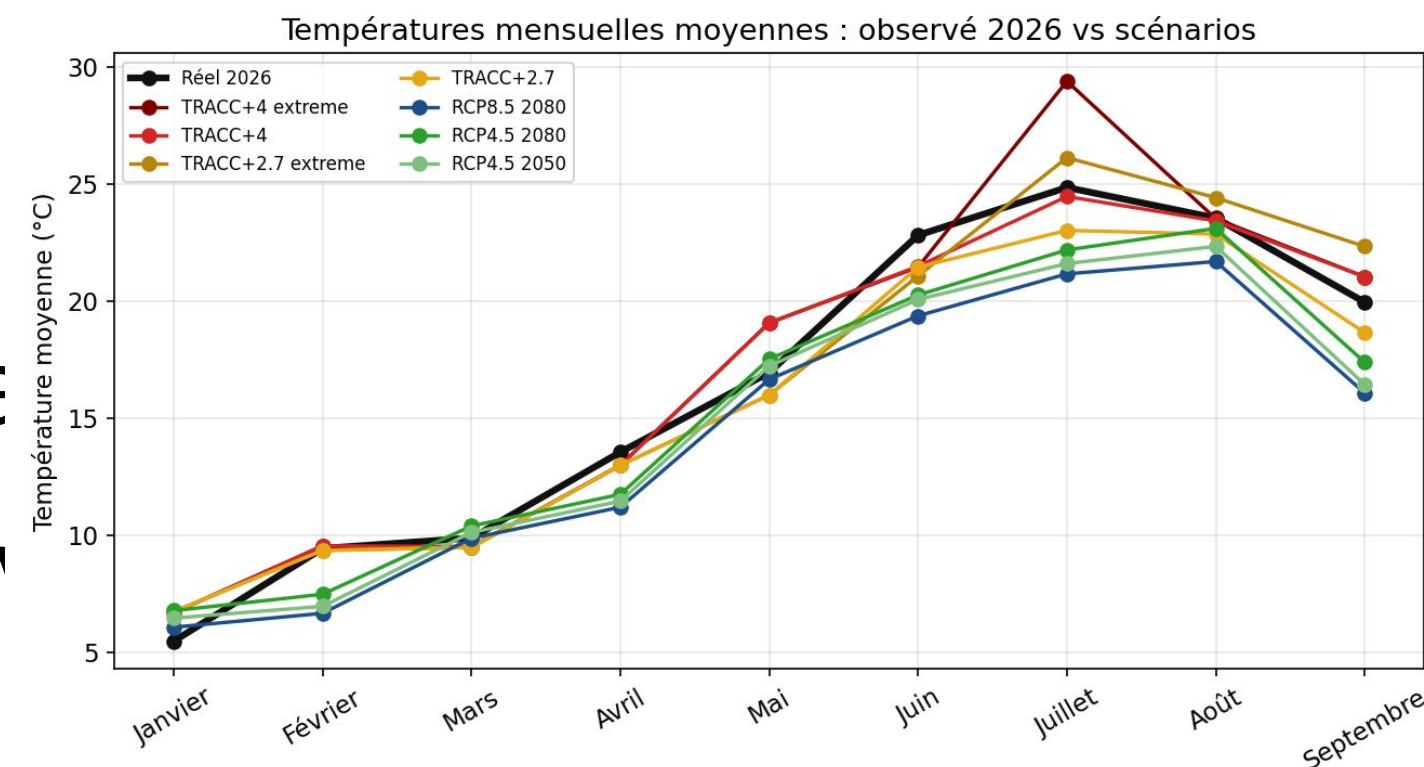


Figure : Températures mensuelles moyennes : observé 2026 vs scénarios pour Tours*

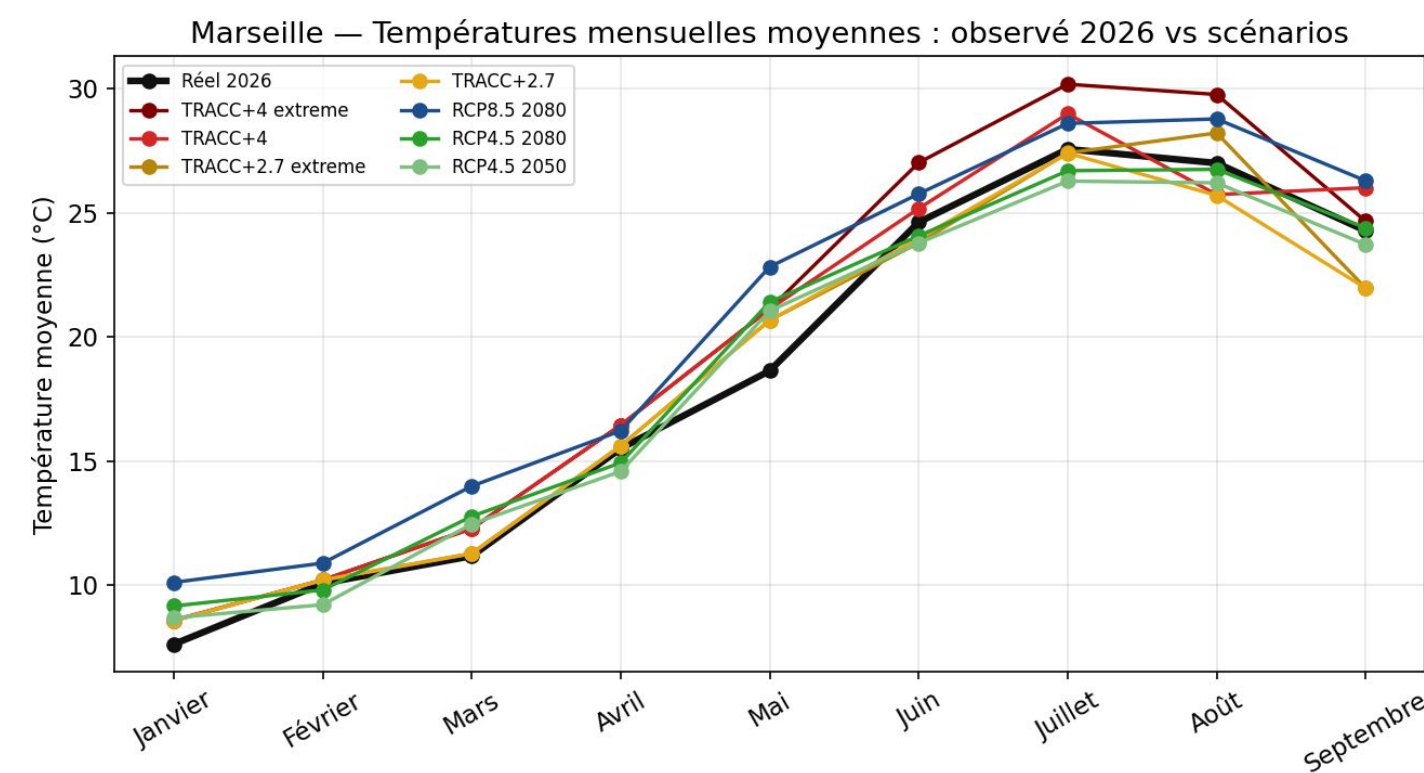


Figure : Températures mensuelles moyennes : observé 2026 vs scénarios pour Marseille*

Principes méthodologiques de l'étude

Modèle calibré

Double numérique Pléiades, calé sur mesures in situ (capteurs RACINE, été 2025)

Pilotage automatisé

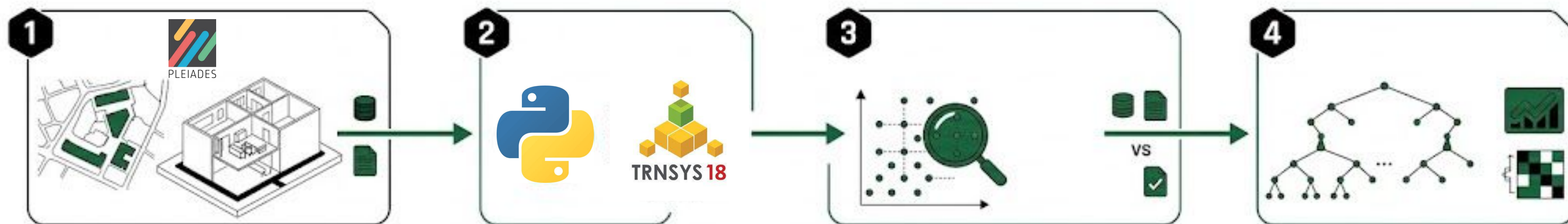
Transfert sous TRNSYS, piloté par un programme Python - des centaines de configurations lancées par lot

Plan d'expériences

Plan D-optimal (algorithme de Fedorov) : maximiser l'information utile sans tout simuler

Modèle prédictif

Forêt aléatoire (500 arbres) : hiérarchie des variables + interactions entre paramètres



Les deux bâtiments

Deux écoles, deux principes constructifs :

- Ecole Mistral à Tours (37)

Construction 1969

Ossature légère, béton non isolé

Façades Est : Ouest largement vitrées

- Ecole Jean Zay à Lyon (69)

Construction 1961

Maçonnerie lourde (murs massifs)

Façade Sud largement vitrée



Des modèles calibrés sur les données estivales

Modèles numériques calibrés sur des campagnes de mesure in situ en été 2025 (CVRMSE < 15 %, conforme ASHRAE 14 / APEMEVE)

Ecole	Zone	RMSE (°C)	CVRMSE (%)	R ² (%)
Ecole Mistral – Tours	CE2 (R+1)	1,74	6,74	92
	CM2 (R+1)	2,31	8,08	84
	Classe 2 (R+1)	1,29	4,58	87
Ecole Jean Zay – Lyon	Classe 8 (R+2)	1,67	5,90	84

Tableau : Calculs d'indicateurs statistiques pour la validation des modèles numériques

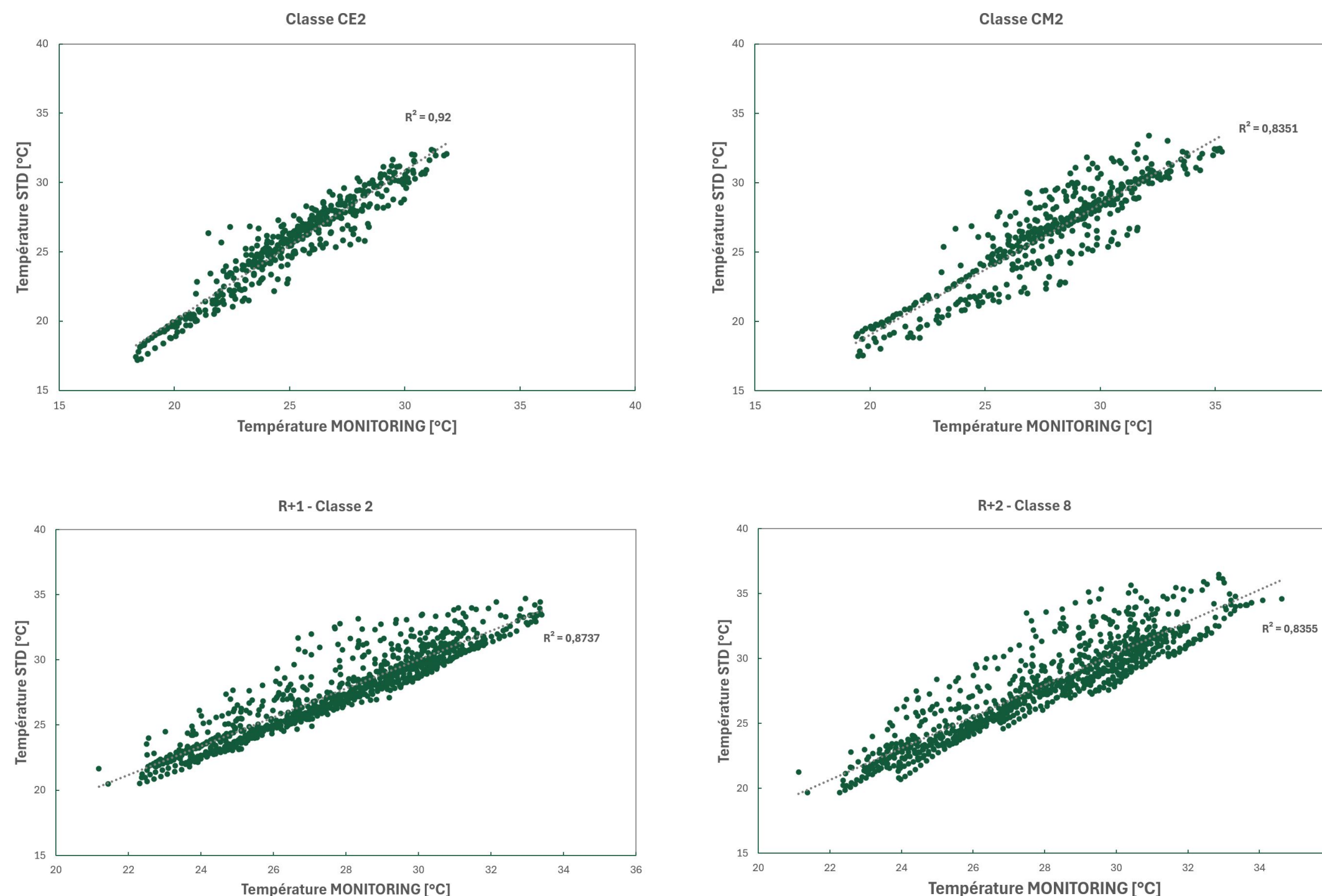


Figure : Corrélation entre la température de monitoring et la température STD pour les 4 salles observées

Plan d'expérience

8 variables prises en compte

- Bâtiment
 - Orientation
 - Inertie
 - Isolation
 - Vitrage
- Stratégies d'adaptation
 - Protection solaire
 - Ventilation nocturne
 - Vitesse d'air
 - Débit de ventilation

3 à 5 niveaux par variables considérés

9 interactions entre variables

Une combinaison de paramètres = une simulation thermique dynamique

Soit **4,5.10¹⁴** simulations en théorie



Plan d'expérience

Réduction grâce à un plan d'expérience D-Optimal
Sélection des combinaisons les plus informatives pour explorer les effets principaux et les interactions

1 204 simulations par lot

Soit au total, **4700** simulations réalisées

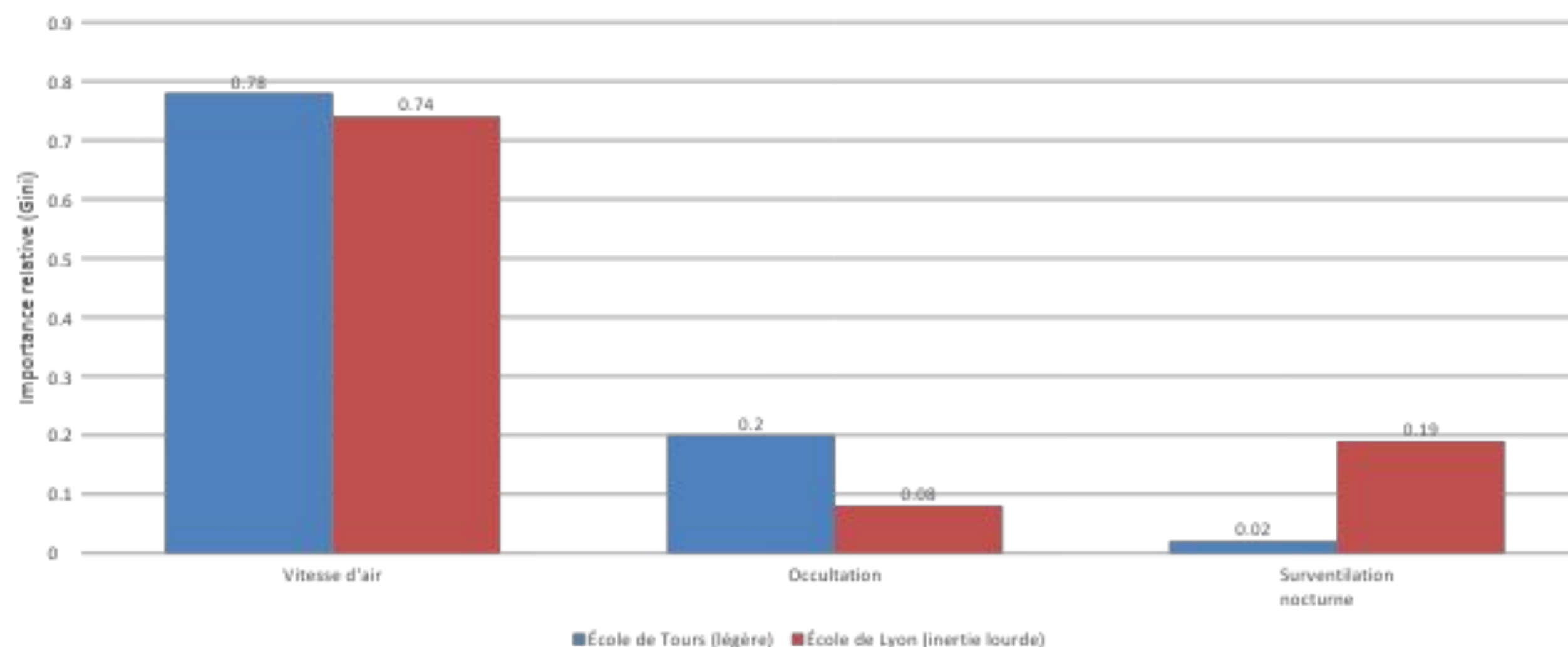
Explorer simultanément l'effet de chaque variable et leurs interactions sur le confort d'été

Bâtiment existant, sans travaux lourds : le report des leviers

Enveloppe figée à l'état actuel - seuls 3 leviers lowtech activables : vitesse d'air, occultation, surventilation nocturne

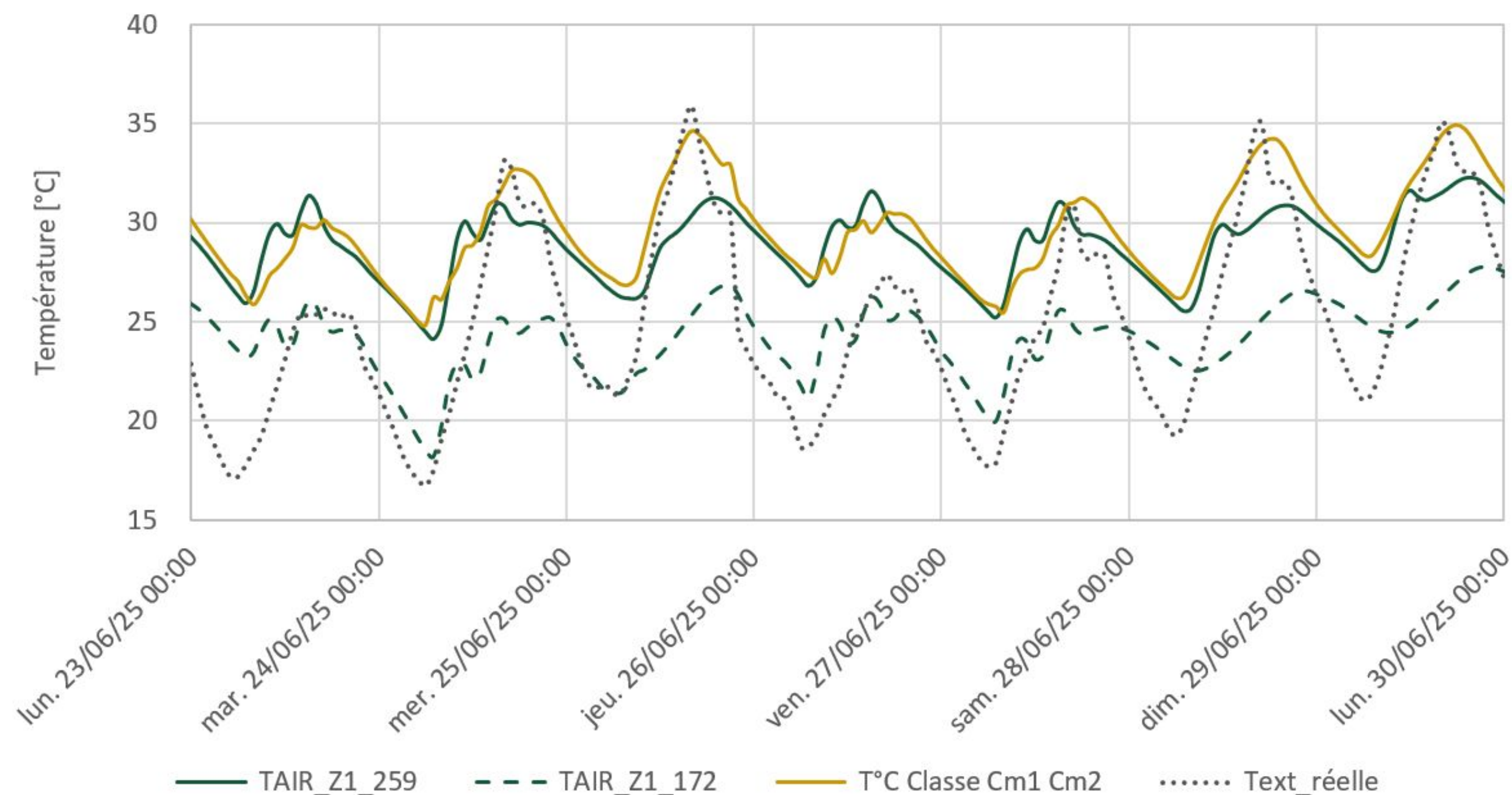
La vitesse d'air reste toujours prioritaire n°1.

Le n°2 dépend de l'inertie :
occultation sur bâti léger (rien à décharger), surventilation nocturne sur bâti lourd (chaleur stockée à évacuer).



Les résultats

La rénovation énergétique du bâtiment sans prise en compte du confort estival peut déteriorer la situation

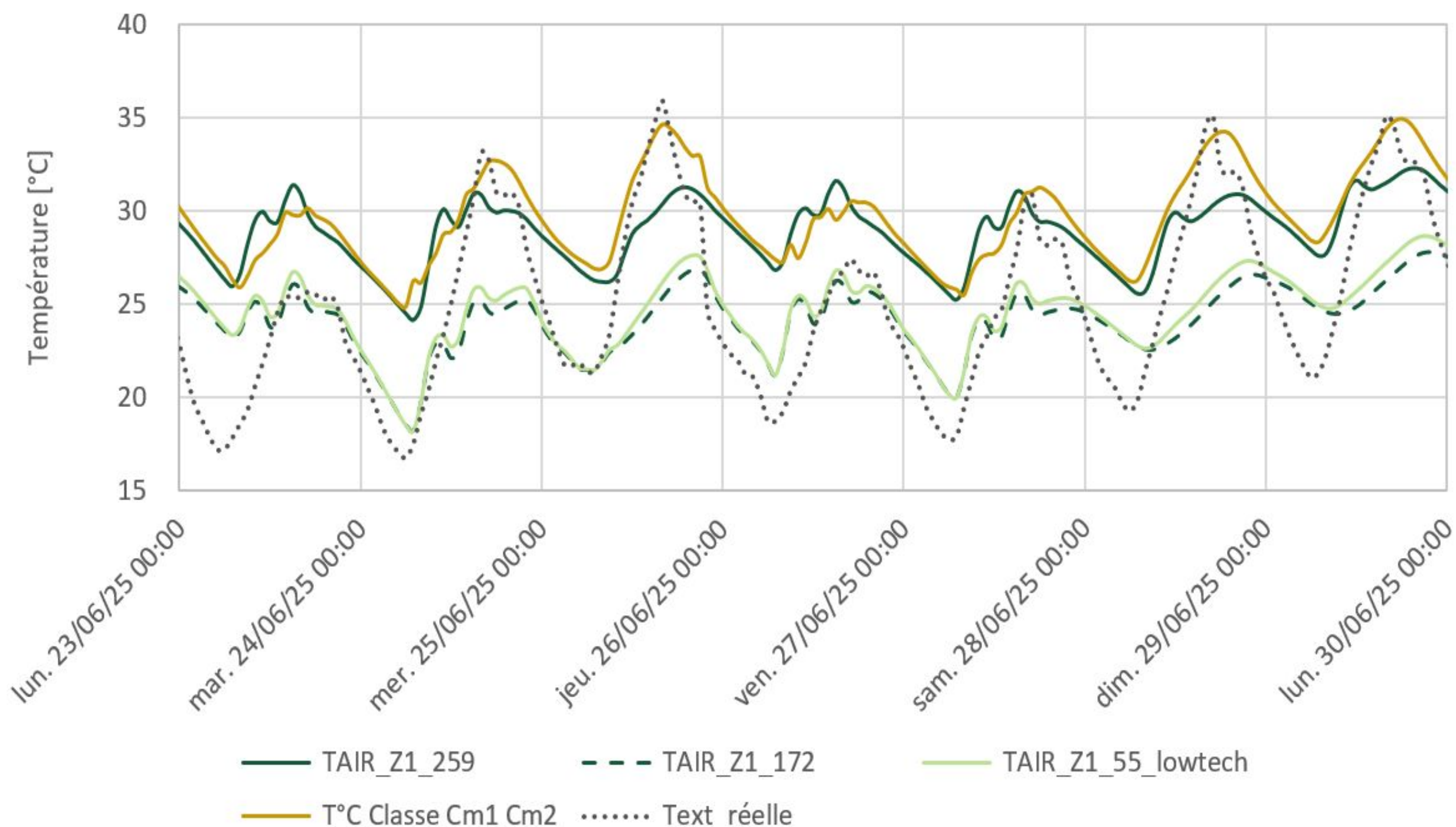


Simulation 259 : isolation, pas de vitesse d'air, pas de renouvellement d'air, pas d'occultation

Simulation 172 : isolation, faible vitesse d'air, surventilation nocturne, occultation

Les résultats

On peut améliorer la situation grâce à une approche lowtech.



Simulation 259 : isolation, pas de vitesse d'air, pas de renouvellement d'air, pas d'occultation

Simulation 172 : isolation, faible vitesse d'air, surventilation nocturne, occultation

Simulation 55 : bâtiment existant, vitesse d'air, surventilation nocturne, occultation



Faut-il attendre la rénovation pour agir ?

Confort d'été : distinguer les actions immédiates des interventions lourdes

Des actions « sans regrets » avant la rénovation globale.

1. Agir dès maintenant : leviers simples, réversibles et immédiatement mobilisables
2. Rénover en intégrant le confort d'été : Ne pas dissocier performance énergétique et adaptation à la chaleur



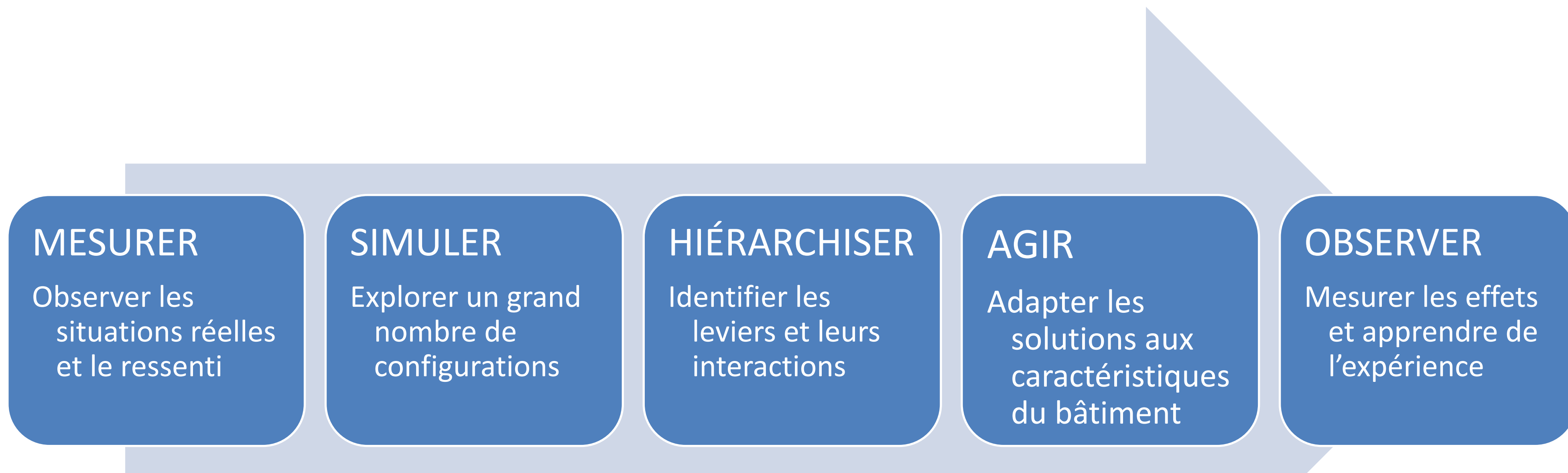
Les 10 premiers enseignements

1. **Pas de levier universel** : la hiérarchie dépend du bâtiment et du contexte
2. **Rafrachir** : la vitesse d'air est un levier majeur
3. **Protéger** : orientation, vitrage et occultation sont indissociables
4. **Décharger** : la ventilation nocturne dépend de l'inertie et de la chaleur stockée
5. **Combiner** : les interactions entre leviers sont déterminantes
6. **L'enveloppe ne suffit pas** : une amélioration isolée peut déplacer l'équilibre estival
7. **Une rénovation globale très performante peut être favorable au confort d'été** si elle réduit simultanément les apports et conserve une capacité de décharge
8. **La low-tech permet d'agir sans rénovation lourde** en mobilisant les leviers adaptés au bâtiment
9. **Le bâtiment existant impose ses priorités** Tours $\neq$ Lyon
10. **La simulation aide à hiérarchiser les actions**



Conclusion :

Du diagnostic à l'action



Une approche pour passer de solutions génériques à une adaptation contextualisé, frugale et efficace



Et la suite?

RACINE 1 et RACINE 2 en cours

La recherche continue : une thèse?

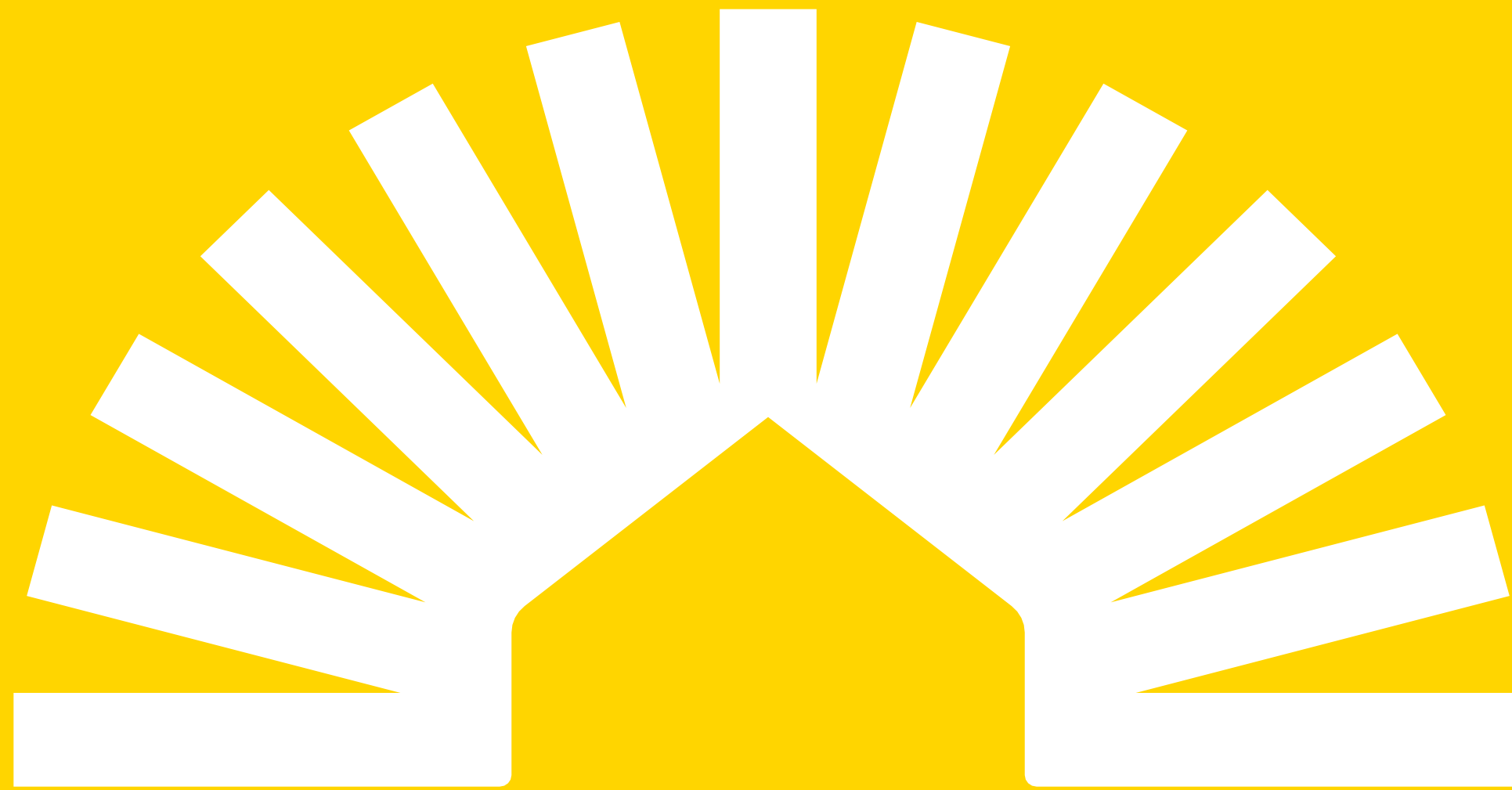


Merci de votre attention

ACT'EE

Action des Collectivités
Territoriales pour
l'Efficacité Énergétique





envirôbât
OCCITANIE

envirobatbcm

ville & aménagement
durable
(Rèvelons nos pratiques)