

Observer pour agir : campagne nationale d'instrumentation du parc scolaire face au changement climatique – PROGRAMME RACINE

Tangi LE BERIGOT¹, Frédéric BOEUF¹, Amaury FIEVEZ^{2,3}

¹SURYA Ingénierie, France – ²ACTEE-FNCCR, France – ³ACTEE Mines Saint-Etienne, UMR 5600 EVS, Institut Henri Fayol.

Mots clés : instrumentation, mesure, école, canicule, confort, POE

Introduction

Le changement climatique impose des défis inédits au secteur du bâtiment, et en particulier aux établissements scolaires, dont la vocation éducative et sociale les place au cœur des enjeux de résilience territoriale. En France, le parc des écoles primaires, très hétérogène en termes d'âge, de conception et de performance énergétique, est particulièrement exposé aux vagues de chaleur, dont la fréquence et l'intensité augmentent de manière significative. Pourtant, cette vulnérabilité reste encore mal caractérisée, en raison d'un manque de données qualifiées sur les phénomènes de surchauffe dans les écoles, notamment en matière de mesures in situ, de retours sur les ressentis des usagers et de suivis à long terme. L'adaptation de ces bâtiments constitue dès lors un impératif, tant pour préserver la santé et le confort des élèves et du personnel que pour garantir la continuité du service public de l'éducation.

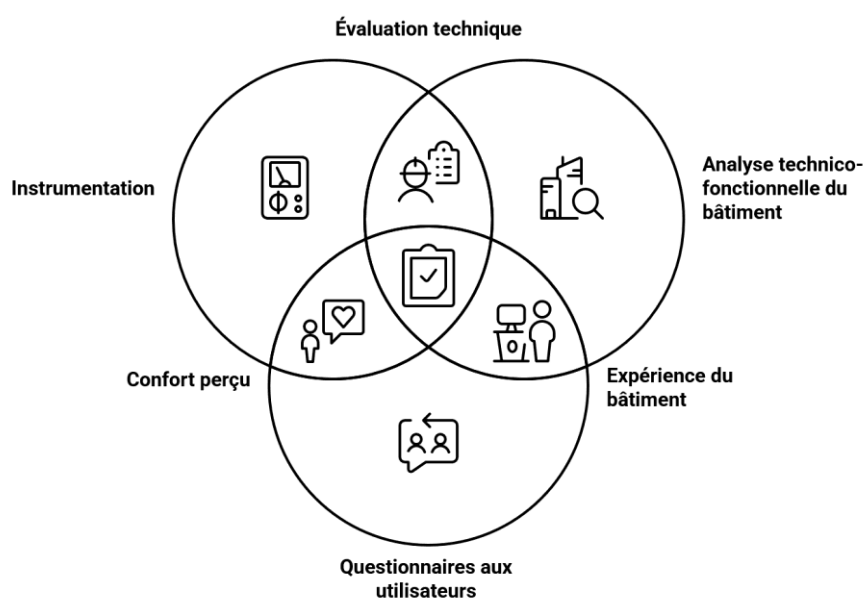
C'est dans ce contexte que s'inscrit le programme de recherche-action RACINE, initié par ACTEE, Action des Collectivités Territoriales pour l'Efficacité Énergétique avec l'appui technique et scientifique du bureau d'études SURYA Ingénierie. L'ambition de ce programme est d'identifier et de tester des solutions d'adaptation aux effets du réchauffement climatique fondées sur une approche lowtech, conciliant sobriété technologique, faisabilité opérationnelle, enjeux de gouvernance et participation active des usagers. Pour ce faire, RACINE veut identifier et documenter les points de blocage organisationnels à la mise en œuvre d'une telle démarche et y apporter des réponses. À plus long terme, le programme RACINE a pour objectif de déployer une méthode d'adaptation à destination des collectivités territoriales et de créer des retours d'expérience réels permettant la diffusion de bonnes pratiques.

La méthodologie adoptée repose sur trois phases complémentaires : (i) la phase de diagnostic, intégrant l'analyse des situations existantes et la recherche des causes de surchauffe ; (ii) l'action, combinant la conception d'une stratégie et la mise en œuvre de mesures correctives et l'implication des communautés éducatives ; et (iii) l'observation, destinée à évaluer l'impact des interventions réalisées.

Le diagnostic s'appuie sur la démarche de Post-Occupancy Evaluation (POE), structurée autour de quatre piliers : l'observation instrumentée, la consultation des usagers, l'analyse technico-fonctionnelle intégrant une visite d'experts et la collecte d'informations contextuelles (gouvernance, historique des interventions, conditions locales). Le présent article se focalise spécifiquement sur les deux premiers piliers, à savoir l'instrumentation et la consultation des usagers.

L'étude repose sur un échantillon de 15 écoles primaires réparties sur l'ensemble du territoire français, différentes en termes d'époque de construction, de caractéristiques architecturales et de surfaces. Une hétérogénéité à l'image du parc existant. Un dispositif de plus de 80 capteurs, soit entre 5 et 20 par établissement, a été déployé pour mesurer la température et l'humidité relative intérieure, ainsi que les conditions climatiques extérieures. La campagne d'observation, conduite du 5 juin au 15 septembre 2025, a permis de documenter plusieurs épisodes significatifs : une canicule en juin durant la période d'occupation scolaire, une canicule estivale en période de fermeture, et enfin une séquence chaude en septembre lors de la rentrée.

Le POE : l'évaluation intégrée des bâtiments



© SURYA Ingénierie

Méthodologie

Le panel RACINE : 15 écoles, 15 climats locaux, 15 collectivités, 15 référents et référentes, 15 contextes

L'échantillon de RACINE est composé de 15 écoles réparties sur l'ensemble du territoire hexagonal, couvrant un large éventail de contextes climatiques et urbains : des zones littorales de l'Atlantique (Montrevault-sur-Evre, Charron) jusqu'aux régions méditerranéennes (Grabels, Saint-Vallier-de-Thiey), en passant par des zones continentales (Tours, Lyon, Ostwald) et le nord du pays (Roubaix, Drancy) – cf. Figure 1. Cette diversité géographique est pertinente pour comparer des configurations bâties, des époques de construction et des conditions climatiques variées. Elle confère également au panel RACINE un caractère de “laboratoire réduit” du parc scolaire national, rendant les protocoles d'instrumentation et d'analyse potentiellement reproductibles à grande échelle, au-delà- des seuls sites étudiés.

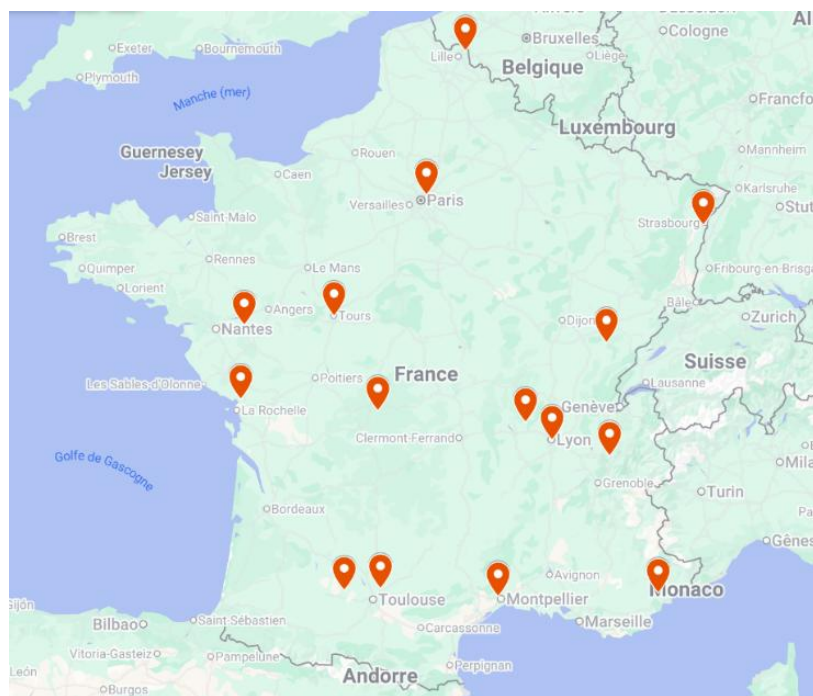


Figure 1 : Localisation des écoles du panel RACINE

Les écoles diffèrent fortement par leur taille, leur ancienneté et leur configuration architecturale, reflétant les évolutions des politiques éducatives et des approches constructives sur plus d'un siècle.

Les établissements se composent de 1 à 8 bâtiments (cf. Tableau 1), avec certaines structures anciennes présentant des ajouts successifs et d'autres, plus récentes, conçues comme des ensembles compacts (écoles de 2000 à 2019). Les bâtiments les plus récents intègrent souvent plusieurs ailes ou extensions (jusqu'à 3), tandis que les plus anciens comportent parfois des bâtiments dispersés, témoignant d'une évolution progressive du site.

	Charron (17)	Fursac (23)	Saint-Jean-la-bussière	Ostwald (67)	Grabels (34)	Drancy (93)	Mauvezin (32)	Chay (25)	Barberaz (73)	Tours (37)	Lyon (69)	Roubaix (59)	Montrevault-sur-Evre	Saint-Vallier-de-
Nombre de bâtiments	8	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	8	2	2
Année(s) de construction	[1898-2005]	Env. 1950	1955	1995	2000	2019	[1994-2011]	[2006-2019]	1977	1969	1961	1980	[1979-1991]	1994
Nombre de classes	8	4	4	5	8	20	7	5	8	5	17	27	7	5
Nombres d'élèves	165	80	85	70	177	446	187	env. 100	210	109	312	476	140	131
Surface de l'établissement [m²]	2151	1470	1200	600	1455	4200	1302	1500	2284	654	4088	4288	1410	1402

Tableau 1 : Synthèse des caractéristiques des écoles du panel RACINE

Les périodes de construction s'échelonnent de la fin du XIX^e siècle (1898) à 2019, couvrant ainsi l'ensemble des grandes périodes de l'architecture scolaire : constructions en pierre massive du début du XX^e siècle, bâtiments modernistes des années 1960 à 1980, puis architectures contemporaines à faible consommation énergétique depuis les années 2000.



Figure 2 : Illustrations des écoles du panel RACINE

Le nombre de classes varie de 4 à 27 (cf. Figure 3), et les effectifs d'élèves de 70 à 476 (cf. Tableau 1), traduisant une grande hétérogénéité entre les petites écoles rurales et les ensembles urbains importants. Les établissements de grande taille (plus de 400 élèves) se situent en agglomération (Roubaix, Drancy, Lyon), tandis que les écoles de moins de 100 élèves se retrouvent plutôt dans des contextes ruraux ou périurbains.

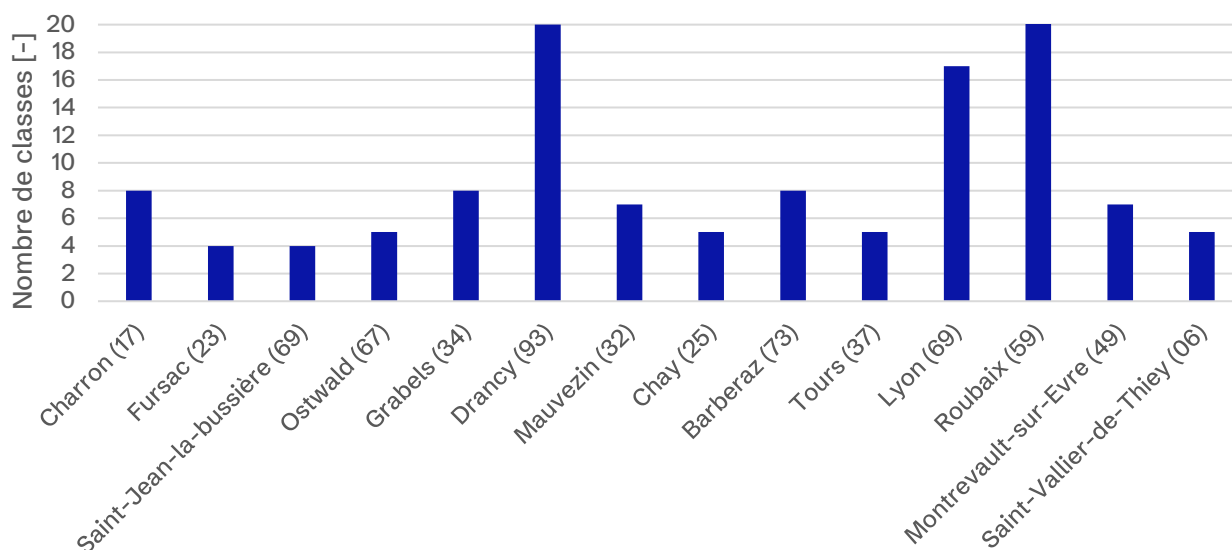


Figure 3 : Nombre de classe par école du panel RACINE

Les types d'établissements sont diversifiés : on retrouve des écoles maternelles, élémentaires et des groupes scolaires primaires regroupant les deux. Cette diversité permet de comparer les besoins spatiaux et énergétiques selon les usages (espaces de repos, réfectoires, cours différenciées, etc.).

Enfin, les surfaces bâties vont de 600 m² à plus de 4 000 m² (cf. Tableau 1), avec une moyenne située autour de 2 000 m². Les écoles les plus vastes correspondent généralement à des établissements récents ou restructurés, intégrant plusieurs volumes fonctionnels (bâtiments d'enseignement, restauration, périscolaire).

L'ensemble forme un échantillon cohérent pour des analyses comparatives sur les caractéristiques architecturales, fonctionnelles et énergétiques des écoles à l'échelle nationale.

En standardisant les méthodes de mesure et d'interprétation sur ce panel volontairement hétérogène, le programme explore des modalités d'appropriation en vue de massification des diagnostics du parc scolaire national.

L'instrumentation

La campagne de mesure repose sur l'utilisation de kits d'instrumentation dédiés au suivi des températures intérieures et des conditions climatiques extérieures en bâtiments scolaires. Chaque site est équipé d'un ensemble comprenant cinq sondes de température et d'humidité ambiante communicantes via le protocole LoRaWAN®, une station météorologique extérieure (température et humidité), un routeur de collecte et de transmission des données, ainsi qu'un dongle LoRaWAN® USB assurant la liaison entre les capteurs et l'infrastructure de communication. Les sondes intérieures sont implantées à une hauteur d'environ 1,5 m, correspondant à la zone d'occupation des usagers, et positionnées à l'écart des sources de perturbation thermique telles que le rayonnement solaire direct, les émetteurs de chauffage ou les équipements électriques, afin de garantir une mesure représentative de la température d'air ambiante. Le routeur est placé en position centrale et sécurisée dans le bâtiment, de manière à optimiser la qualité et la fiabilité des transmissions LoRaWAN® entre les sondes et le système de collecte et s'assurer qu'il ne soit pas débranché et/ou déplacé. Au total, 81 capteurs intérieurs ont été installés dans le cadre de ce projet.



Figure 4 : Illustrations des capteurs déployés

La station météorologique est installée à l'extérieur, protégée par un boîtier dit Meteo Shield, à une hauteur suffisante pour éviter toute dégradation ou tout choc involontaire, notamment pendant les temps de récréation, en évitant les zones soumises à des influences thermiques locales (rejets de ventilation, évacuations de fumées), les zones exposées au rayonnement du soleil ainsi que les surfaces à fort albédo, afin d'assurer une caractérisation représentative des conditions climatiques locales.

Les données acquises sont centralisées via le routeur et transmises automatiquement pour analyse ultérieure. Le pas d'acquisition est de 10 minutes pour permettre d'observer potentiellement la physique du bâtiment (variation d'ensoleillement, effet de l'ouverture des fenêtres, etc.) via la construction de graphiques que nous verrons dans la partie suivante.

L'hypothèse principale associée à cette méthodologie est que la température mesurée par chaque sonde constitue un indicateur pertinent des conditions thermiques ressenties localement par les occupants du local instrumenté. L'implantation à hauteur d'homme et l'évitement des sources de perturbation permettent de limiter certains biais notamment ceux liés aux apports radiatifs ponctuels ou aux effets de paroi. Il est également supposé que la station météorologique extérieure fournisse des données climatiques suffisamment représentatives pour établir des corrélations entre conditions extérieures et températures intérieures.

Cette méthodologie présente néanmoins plusieurs limites. Les mesures se limitent à la température de l'air et ne prennent pas en compte explicitement les paramètres radiatifs (température opérative) ou aérauliques, qui peuvent influencer le confort thermique perçu. De plus, la représentativité spatiale reste contrainte par le nombre limité de sondes par bâtiment, ce qui peut ne pas capturer l'ensemble des hétérogénéités thermiques internes, notamment dans des locaux fortement exposés ou à usage variable.

Malgré ces limites inhérentes à des campagnes de mesure in-situ, les données récoltées sont précieuses et, corrélées à une expertise technique et au retour des usagers, vont permettre d'identifier les sources d'inconfort et d'évaluer les périodes correspondantes.

Résultats

Analyse des données météorologiques extérieures

Afin de caractériser les situations de chaleur et leur évolution, trois indicateurs climatiques extérieurs ont été retenus (cf. Figure 5). Ils reposent sur des seuils de température simples, largement utilisés en climatologie, et permettent de décrire à la fois l'intensité de la chaleur en journée et la capacité de l'atmosphère à se rafraîchir la nuit.

La journée estivale correspond à une journée au cours de laquelle la température maximale dépasse 25 °C. Elle traduit l'installation de conditions typiquement estivales et permet d'apprécier la fréquence des journées chaudes, sans nécessairement atteindre des niveaux extrêmes.

La journée de forte chaleur se distingue par une température maximale supérieure à 35 °C. Ce seuil marque des épisodes de chaleur intense, susceptibles de générer des situations d'inconfort marqué, des contraintes pour les bâtiments et les usages, ainsi que des risques accrus pour la santé et les écosystèmes.

Enfin, la nuit tropicale désigne une nuit durant laquelle la température minimale ne descend pas en dessous de 20 °C. Cet indicateur est particulièrement révélateur de l'absence de décharge thermique nocturne et joue un rôle déterminant dans le ressenti thermique global, notamment lors d'épisodes de chaleur prolongés.

Ces indicateurs sont définis sur le portail DRIAS mis en œuvre par Météo-France en lien avec la communauté scientifique nationale du climat (IPSL, CERFACS, CNRM)¹.

Sauf précision contraire, l'ensemble des données analysées par la suite est compris entre le moment où l'ensemble des capteurs ont été posés dans les 15 écoles, soit le 17 juin 2025, et le 15 septembre 2025. La période d'observation s'étend donc sur 90 jours. Attention : les observations suivantes n'ont pas l'ambition de porter une analyse générale sur le climat du territoire où est situé l'école mais bien d'analyser les données de températures des sites où sont situées les écoles sur la période d'observation.

Sur cette période, l'analyse des températures extérieures issues des stations météorologiques des 15 écoles permet d'observer un nombre de journées estivales présentant une relative homogénéité avec une moyenne gravitant autour de 45 jours. Grabels détient le record avec plus de 60 jours (63 jours exactement), suivie de près par Mauvezin (58 jours). Barberaz (26 jours) et Fursac (36 jours) semblent être les communes les "plus fraîches" de la liste concernant cet indicateur sur cette période d'observation. L'indicateur des nuits tropicales présente les variations les plus marquées selon la géographie. Mauvezin se distingue nettement avec 34 nuits tropicales, un chiffre très élevé par rapport à la moyenne des écoles. Lyon présente également un nombre significatif de nuits tropicales (24 nuits), ce qui peut s'expliquer par l'effet d'îlot de chaleur urbain propre aux grandes métropoles. À l'inverse, des communes comme Roubaix ou St Jean La Buissière comptent qu'une seule nuit tropicale sur la période d'observation, soulignant une fraîcheur nocturne préservée.

Quatre des écoles enregistrant le plus grand nombre de journées estivales figurent également parmi les cinq écoles comptabilisant le plus grand nombre de nuits tropicales. Il s'agit de Mauvezin, Lyon, Paulhac et Grabels. Seule l'école de Charron présente un nombre de journées estivales élevé (52 jours) mais un nombre de nuits tropicales faible (7). Ceci pourrait s'expliquer par la proximité de la commune de la côte atlantique.

L'ensemble de ces observations sont valables pour le nombre de journées de forte chaleur variant entre 1 (Roubaix) à 16 à Mauvezin.

¹ <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/181>

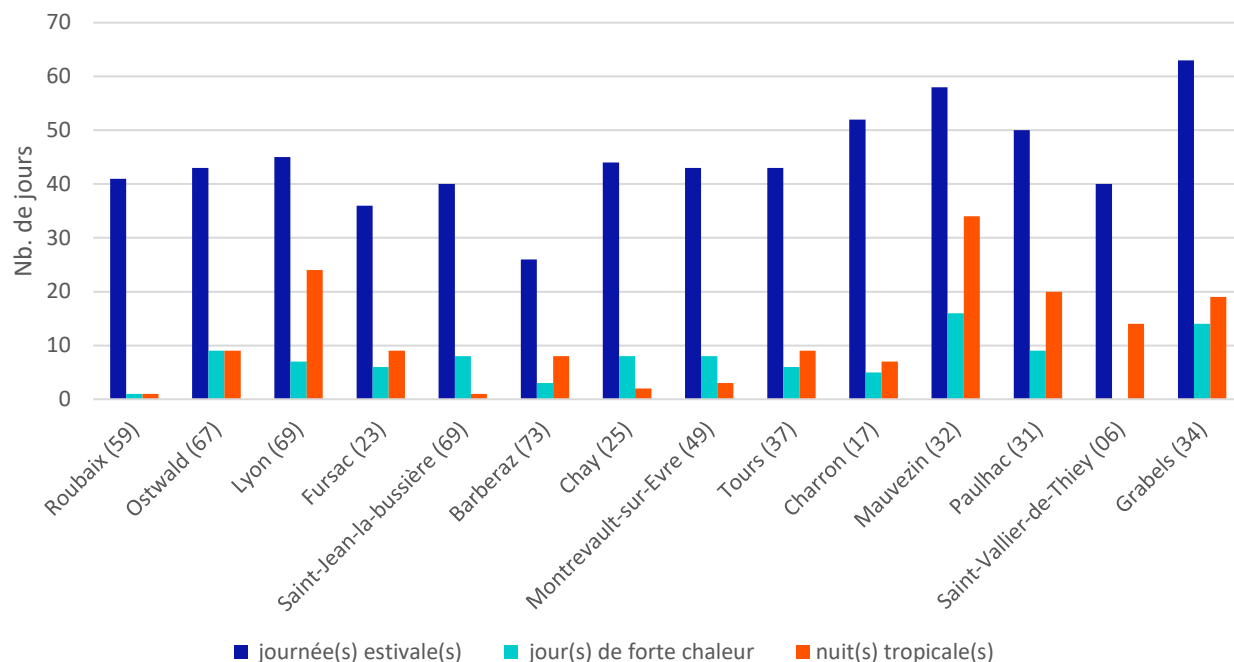


Figure 5 : Observation des journées estivales et de forte chaleur et des nuits tropicales sur la période d'observation [du 17 juin 2025 au 15 septembre 2025]

Au-delà des disparités géographiques et morphologiques cités ci-avant, cette présente analyse souligne une réalité climatique globale : aucun territoire n'est épargné par le stress thermique estival. Si l'intensité varie, les nombres de journées estivales sont importants sur l'ensemble de l'échantillon, y compris dans les communes les plus au nord ou les plus rurales, dépassant systématiquement la barre des 25 jours sur la période d'observation avec une moyenne à 45 jours soit 50% du temps.

Les observations de cette étude sont réalisées sur la base de l'enregistrement sur un été. Grâce aux données publiées par l'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), il est possible d'observer les tendances des années précédentes. La Figure 6 illustre les bandes de réchauffement climatique pour les communes des écoles de l'échantillon, en se concentrant sur les mois de mai, juin et septembre - périodes correspondant à l'occupation des établissements scolaires². Chaque bande représente une année, la couleur traduisant l'écart de la température moyenne du mois de l'année considérée avec la moyenne des températures du même mois sur l'ensemble de la période d'observation : du bleu pour les années les plus fraîches par rapport à cette dernière moyenne au rouge pour les plus chaudes par rapport toujours à cette moyenne. L'observation est faite en considérant l'ensemble des années entre 1941 et 2025 inclus.

L'évolution observée est sans ambiguïté : au fil des décennies, les nuances bleues disparaissent presque totalement au profit de teintes chaudes de plus en plus marquées. Cette transformation visuelle traduit un réchauffement net et continu, perceptible sur l'ensemble du territoire, indépendamment du contexte

² Sources des données : ECMWF 2025

géographique ou climatique local. Les dernières années apparaissent presque uniformément rouges, témoignant de la fréquence accrue des épisodes chauds, y compris sur des mois historiquement tempérés.

Ces résultats confirment l'intensification du réchauffement climatique à l'échelle saisonnière. L'augmentation des températures sur ces mois d'entre-saison n'est plus marginale : elle modifie profondément les conditions d'usage des bâtiments, en particulier les écoles, désormais exposées à des périodes de chaleur prolongée dès le printemps et jusqu'à l'automne. L'urgence d'agir est manifeste : la trajectoire observée ne montre aucun signe d'inflexion, et chaque décennie qui passe renforce l'ampleur du phénomène.

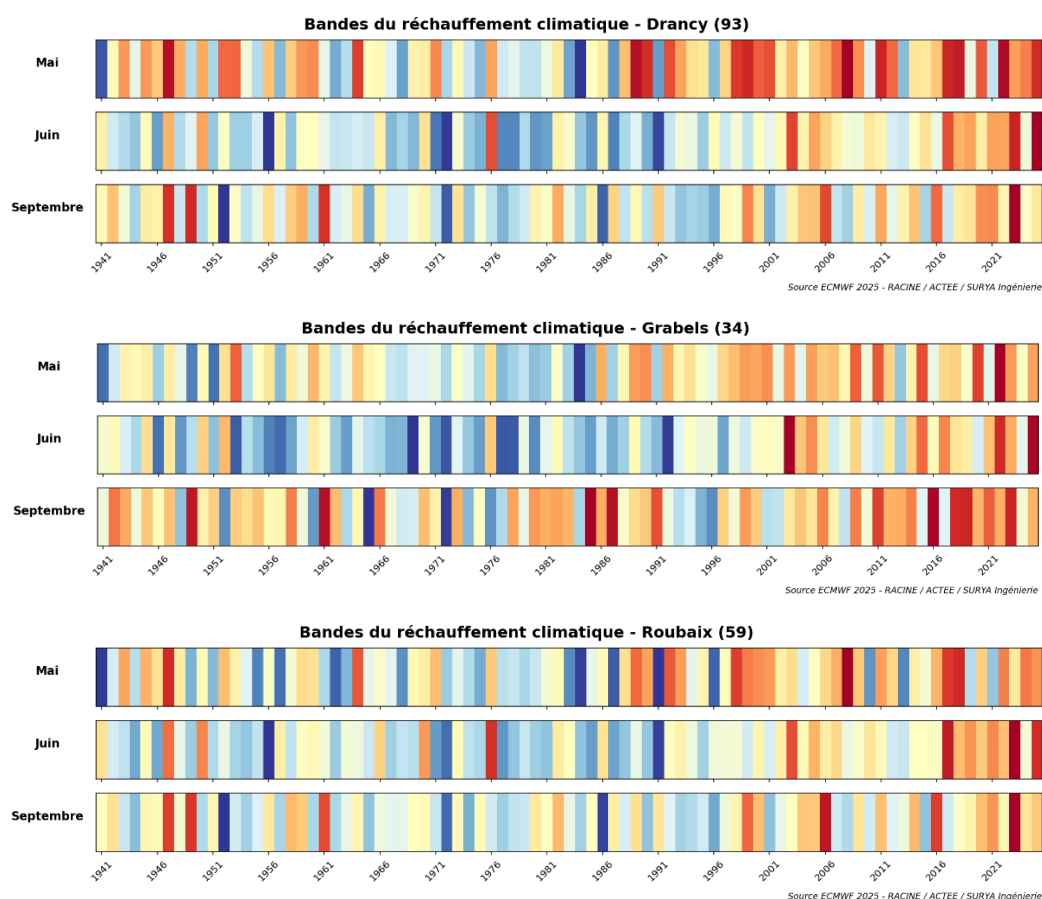


Figure 6 : Bandes de réchauffement climatique de 4 écoles de l'échantillon RACINE - période de mai, juin et septembre

Ces constats sont valables quel que soit la situation géographique et confirment l'importance de se préoccuper de la problématique du réchauffement climatique dans les écoles sans distinction de territoire, intégrant des établissements du pourtour méditerranéen comme de régions septentrionales.

Cette généralisation du phénomène indique que, malgré une résilience relative des régions septentrionales face aux nuits tropicales, la hausse des températures diurnes devient une caractéristique commune à l'ensemble des territoires étudiés, faisant de la gestion des fortes chaleurs un défi national qui transcende désormais les frontières climatiques traditionnelles.

Observation de l'inconfort

Compte tenu de ces observations sur le climat extérieur, l'instrumentation réalisée a permis d'observer l'évolution du climat intérieur et d'évaluer l'inconfort ressenti par les usagers.

La Figure 7 présente la distribution du nombre d'heures d'occupation pendant lesquelles la température intérieure dépasse 28 °C pour l'échantillon d'écoles RACINE réparties sur différentes zones climatiques françaises (H1a à H3), sur la période estivale du 17 juin au 15 septembre 2025 en occupation. Chaque barre intègre autant des données qu'il y a des capteurs dans les écoles.

Les résultats montrent une forte dispersion des taux de surchauffe au sein de chaque zone climatique, traduisant des comportements thermiques très hétérogènes entre bâtiments. Cette variabilité est aussi souvent observée au sein d'un même établissement entre différentes zones, suggérant que les conditions de surchauffe estivale ne dépendent pas uniquement du climat régional.

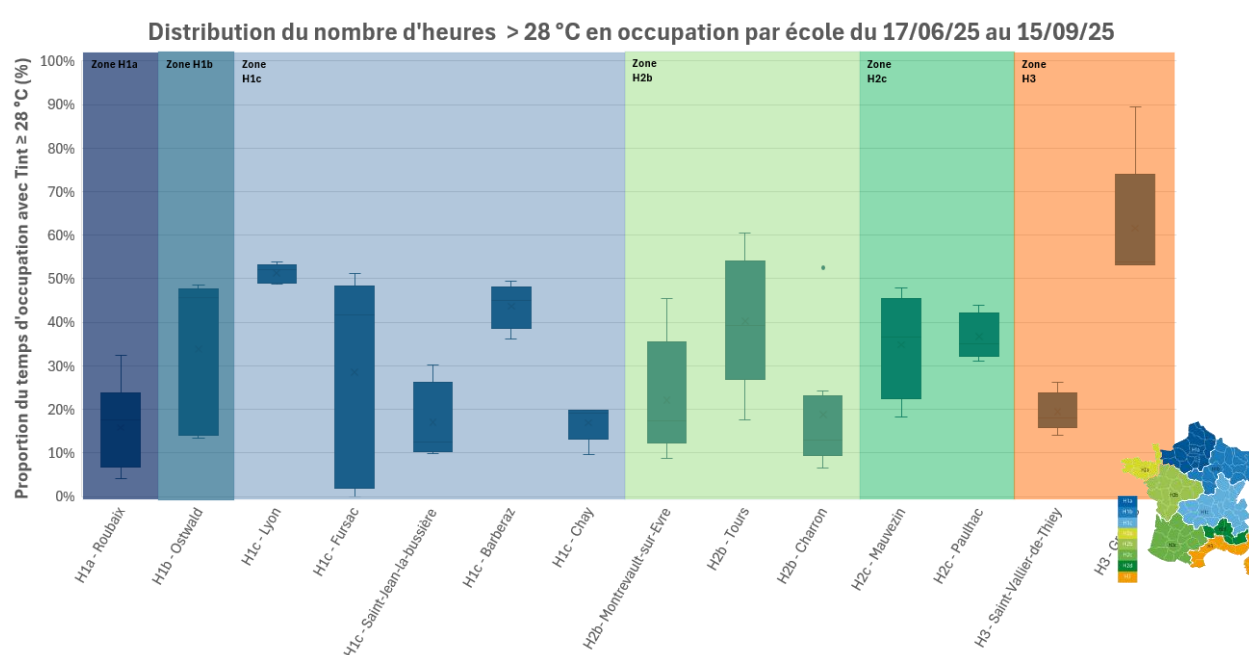


Figure 7 : Distribution du nombre d'heures > 28 °C en intérieur par école en fonction de la zone climatique réglementaire

Certaines écoles des zones réputées tempérées (H1 et H2) présentent des proportions d'occupation à plus de 28 °C comparables, voire supérieures, à une de celles observées en zone H3 (Saint-Vallier-de-Thiey). Cette observation indique qu'en 2025, les épisodes de chaleur significative concernent l'ensemble du territoire, et que la surchauffe estivale a été un phénomène généralisé en 2025, y compris dans les régions traditionnellement plus fraîches.

La carte climatique rappelle néanmoins les gradients thermiques structurels entre régions, mais les résultats soulignent que le climat local ne suffit plus à prédire le niveau de confort intérieur.

Les écarts observés entre bâtiments proches mettent en évidence le rôle déterminant des facteurs de conception, d'inertie, de ventilation et d'usage (exemple écart entre Mauvezin et Paulhac) pouvant être couplés à l'effet d'un contexte urbain (exemple écart entre Lyon et Saint-Jean-la-Bussière). Ces éléments confirment l'importance d'une approche bâtiment-centrée plutôt que strictement territoriale pour l'évaluation du confort d'été et la mise en œuvre des stratégies d'adaptation.

Ces analyses sont confirmées grâce à la représentation de la Figure 8. Celle-ci représente la relation entre l'inconfort ressenti au sens du nombre d'heure d'occupation où la température intérieure est supérieure à 28°C et le nombre d'heure d'occupation où la température extérieure est supérieure à 28°C sur la période

d'observation. Si le 'point' d'un local (= point de mesure) est situé au-dessus de la bissectrice du graphique, alors le nombre d'heures chaudes à l'extérieur est supérieur au nombre d'heures chaudes à l'intérieur. Dans le cas où ce point est en-dessous de cette droite, l'inconfort intérieur est plus important que l'inconfort chaud extérieur, cet inconfort étant défini ici uniquement par une température de l'air supérieure à 28°C. Autrement dit, les points en dessous de la bissectrice traduisent des bâtiments qui amplifient le stress thermique extérieur, ceux au-dessus- une certaine capacité de protection

Cette représentation met, ici aussi, en évidence les trois communes d'Occitanie de l'échantillon présentant toutes trois en nombre d'heure où la température extérieure est supérieure à 28°C les plus important.

Il est également possible d'observer les disparités de températures intérieures pour un même bâtiment. Celles-ci peuvent être liées à l'usage, l'exposition, la capacité de décharge thermique, etc. Les expertises techniques et la consultation des usagers ont permis dans la majorité de cas de comprendre ces écarts et de les expliquer.

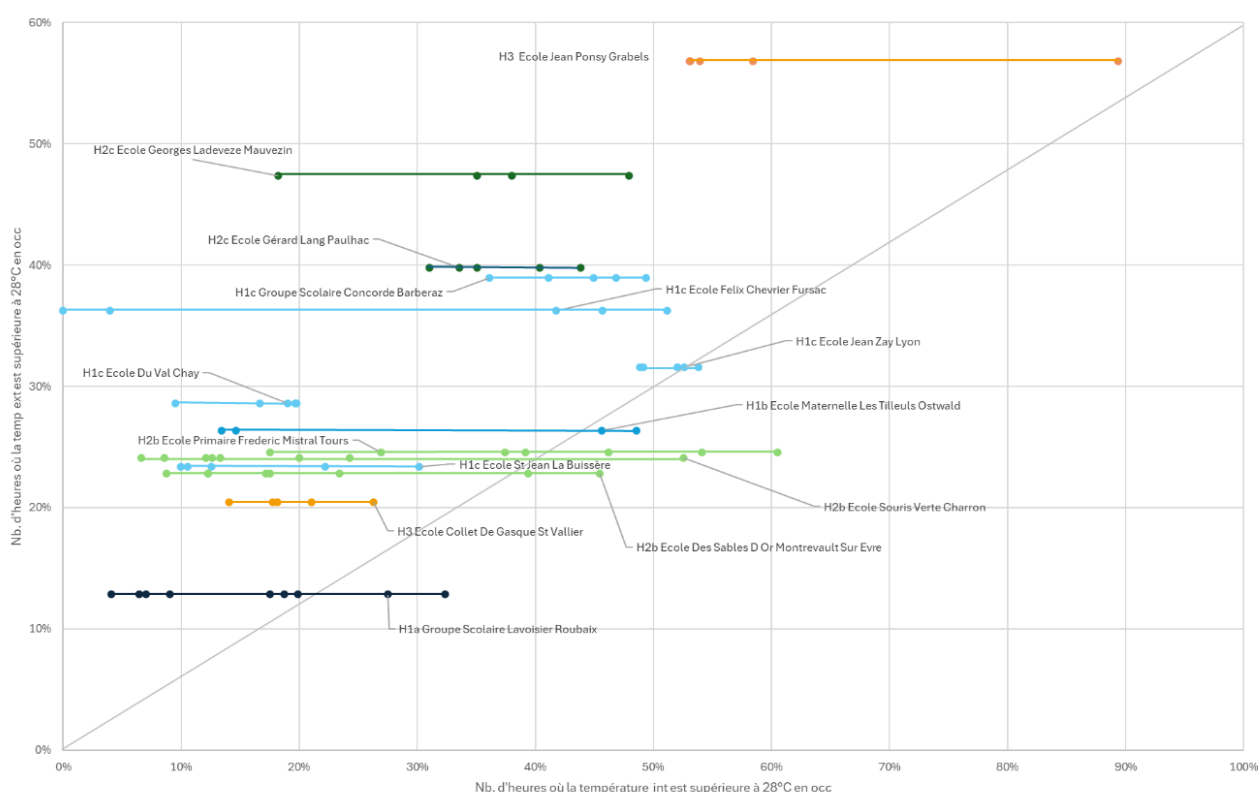


Figure 8 : Relation entre l'inconfort ressenti et la température extérieure sur l'ensemble de la période d'observation

Afin d'illustrer les observations qui ont pu être possibles grâce à cette instrumentation, plusieurs exemples sont analysés ci-après.

La Figure 9 permet d'observer l'évolution des températures dans une école de type Pailleron³ pendant un épisode caniculaire avec occupation. Cette période s'étend du 27 juin au 4 juillet 2025.

Les locaux du R+1 (nommés sur la Figure 9 : 'Classe CM1/CM2', 'Classe Fls⁴ Info', 'Classe CM2', 'salle de liberté' et 'porte sectionnelle') présentent des températures élevées qui dépassent fréquemment les 35°C et flirtent parfois avec les 40°C. Les températures de ces locaux sont toujours proches de la température extérieure en journée, signe d'un manque d'inertie mais aussi toutes les nuits supérieures à la température extérieure, signe d'une accumulation de la chaleur dans le volume et d'un manque de décharge thermique. Cette situation peut témoigner d'un effet de surchauffe sous toiture couplé à une exposition solaire prolongée sans masse inertielle mais avec une certaine étanchéité à l'air où la chaleur accumulée pendant la journée n'est que très partiellement évacuée durant la nuit.

En revanche, l'examen des courbes des locaux situés au RDC (nommés sur la Figure 9 'Classe CP' et 'Classe CE2') révèle un contraste frappant entre ces salles et celles situées à l'étage. Pour la première (Classe de CP) la température fluctue peu sur la période, signe d'une bonne protection solaire. On remarque également en début de journée les lundi et mardi de la semaine observée, une petite baisse de température liée vraisemblablement à une aération matinale. Pour la salle CE2, il est possible d'observer une hausse de température à partir du milieu de journée. Ceci est lié à l'exposition Ouest de ce local et donc aux apports reçus par les baies à partir du milieu de journée.

Ces différentes observations ont permis d'évaluer la situation, de comprendre les sources potentielles d'inconfort, d'identifier des situations favorables (et d'autres qui le sont moins) mais aussi d'observer certains usages (exemple : aération matinale) et l'effet de certains dispositifs (la présente école est équipée de stores en toile extérieure qui semble avoir peu d'effet sur les apports solaires, si tant est qu'ils soient utilisés aux bons moments).

³ Établissement scolaire construit majoritairement dans les années 1960-1970 selon des procédés industrialisés, reposant sur une structure métallique légère et des façades préfabriquées. Ces bâtiments, conçus avant toute exigence thermique, se caractérisent généralement par une faible inertie, une isolation limitée et une forte sensibilité aux surchauffes estivales.

⁴ Français Langue de Scolarisation

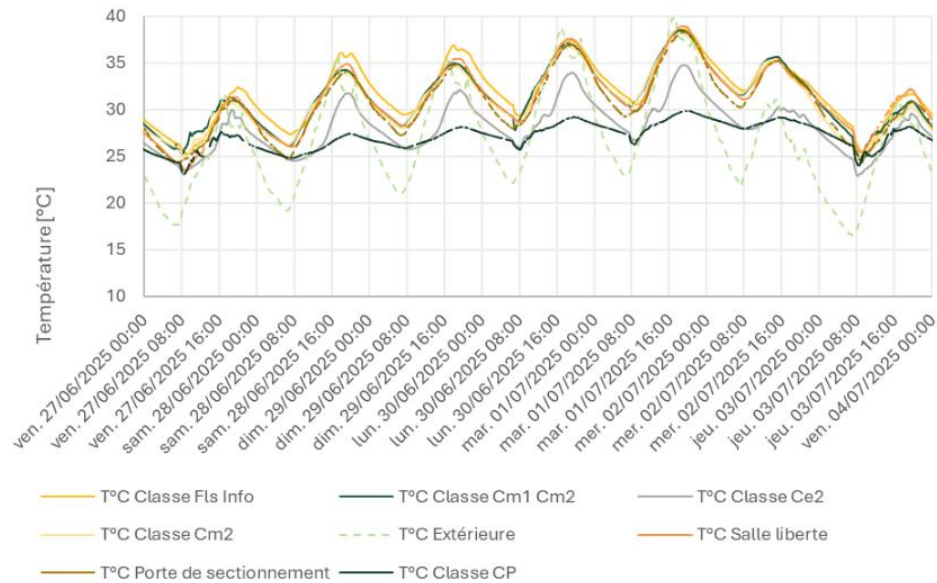


Figure 9 : Evolution des températures au sein de l'école de Tours lors de la semaine du 26 juin 2025

La précédente école illustre le cas d'un bâtiment à faible inertie. La Figure 10 permet d'observer l'évolution des températures dans une école en ITI (Isolation Thermique Intérieure) pendant un épisode caniculaire avec occupation. La période représentée sur cette figure s'étend du 27 juin et le 4 juillet 2025. L'ensemble des températures intérieures sur cette période est homogène et élevé, variant en moyenne entre 29°C et 32°C et ne descendant pas sous les 30°C à partir du lundi de la semaine d'observation.

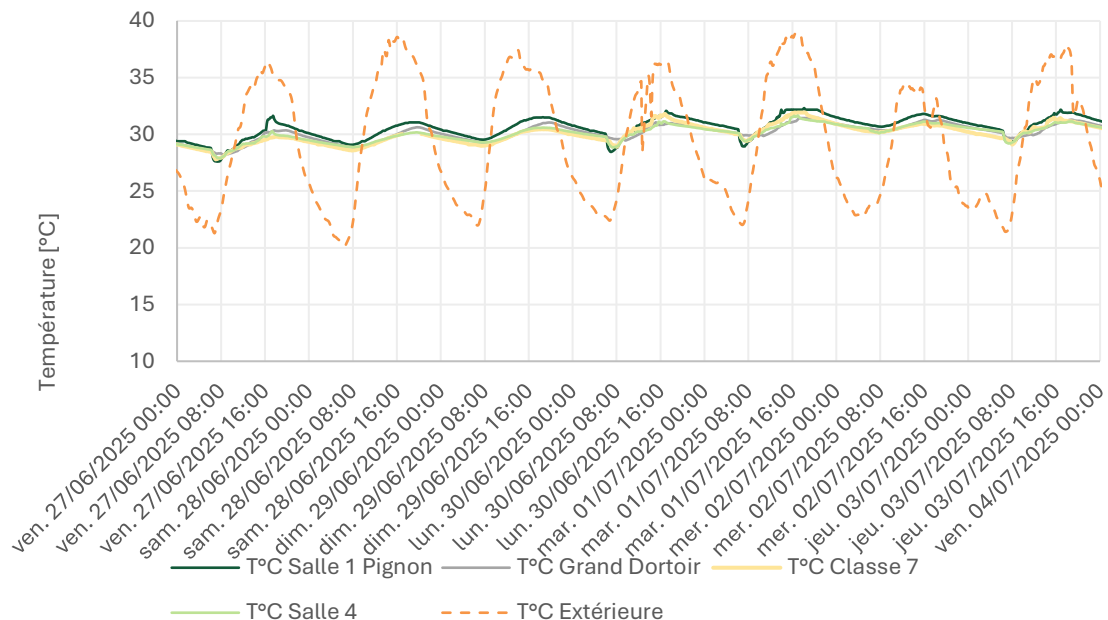


Figure 10 : Evolution des températures au sein de l'école de Grabels lors de la semaine du 27 juin 2025

L'isolation par l'intérieur ne permet pas de profiter de l'inertie des murs verticaux. Malgré cela, les courbes présentées sur la Figure 10 montrent que le bâtiment a une certaine inertie. En effet, les amplitudes journalières de températures intérieures sont faibles et il est possible d'observer un léger décalage de l'extremum de

températures par rapport à l'extremum extérieur. L'inertie du bâtiment pourrait donc venir du radier sur terre-plein⁵ constituant le plancher bas de l'établissement.

Ces courbes montrent ici aussi l'ouverture des fenêtres en début de matinée permettant de diminuer sur une période courte les températures intérieures et l'absence de pic de température lié aux rayonnements solaires directs. Ce renouvellement de l'air de la pièce ne permet visiblement pas le stockage de chaleur dans les murs, sols et mobilier et la température de l'air remonte rapidement, supposément en raison des apports solaires du début de la journée, de la diffusion de la chaleur stockée dans les murs et des apports internes liés au démarrage des salles de classe.

L'instrumentation permet ici encore d'évaluer la situation, de comprendre les sources potentielles d'inconfort, mais aussi d'observer certains usages (exemple : aération matinale).

Focus sur la décharge thermique nocturne

L'observation des 15 écoles pendant la période estivale a permis de constater des hétérogénéités fonction de la géographie, des orientations, des principes constructifs, de l'usage de certains équipements, etc. et l'absence de stratégie de confort estival complète et structurée.

L'objectif d'une stratégie de confort estival est de limiter la hausse température intérieure grâce à des protections solaires couplées à une stratégie d'évitement de production de chaleur. Pour la chaleur qui sera inévitablement produite, il sera nécessaire de l'évacuer. Pour ce faire, dans un objectif d'atteinte du confort thermique estival sans équipements actifs, la solution la plus accessible est la décharge thermique nocturne qui peut passer préférentiellement par de la surventilation naturelle mais qui peut dans certains cas être réalisée par une surventilation mécanique. Sans cette stratégie de décharge thermique, quelques soit les dispositifs mises en œuvre pour se protéger des apports, la température augmentera tout au long de l'épisode de chaleur ou de la canicule.

L'observation des 15 écoles du panel RACINE ne montre qu'aucune de ces écoles ne met en place une telle stratégie de décharge thermique nocturne. Pourtant, le potentiel est bien présent. La

Figure 11 montre l'évolution de température de l'école de Grabels sur la semaine du 30 juin. On y observe que la température intérieure en fin de nuit est toujours bien supérieure à la température extérieure. Les aires vertes permettent de symboliser et de visualiser les potentiels de décharge. En effet, dès que la température extérieure est plus basse que la température intérieure il serait possible de décharger les bâtiments. Mais pour cela, il est nécessaire de prévoir les dispositifs permettant d'ouvrir de manière optimale, tout en se protégeant des contraintes associées à l'ouverture d'ouvrant (protection contre la pluie, les nuisibles et les intrusions) et d'avoir la possibilité de le faire (qui ? comment ? quand ?).

⁵ Dalle en béton posée directement sur le sol, qui supporte l'ensemble du bâtiment

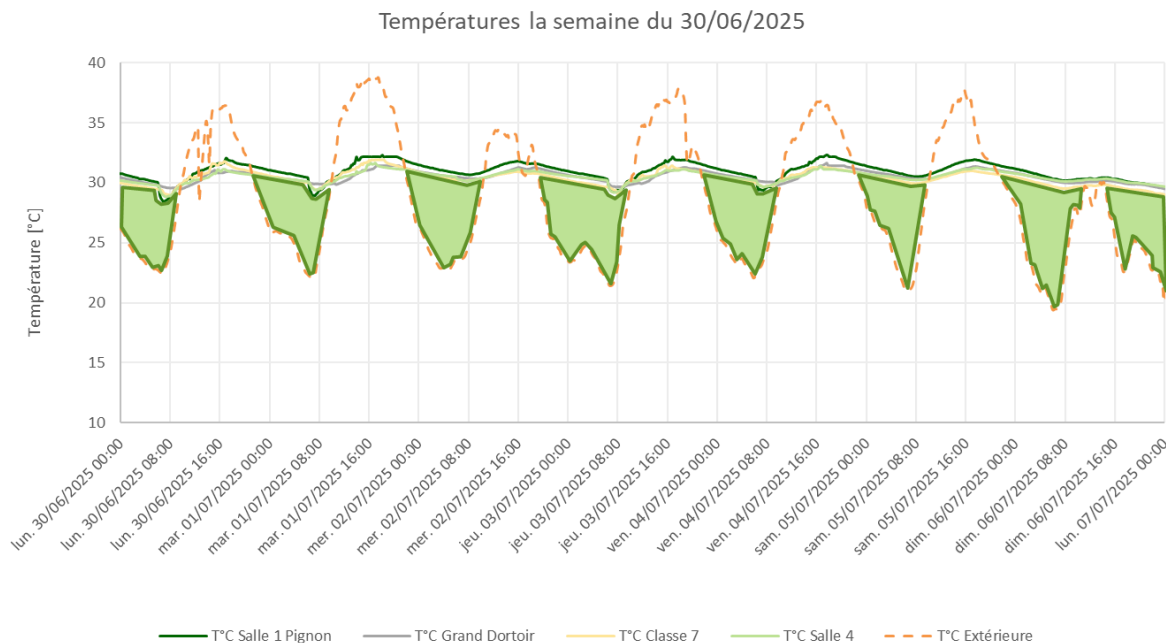


Figure 11 : Evolution des températures dans l'école de Grabels sur une semaine (cas de non-ventilation nocturne)

Dans plusieurs écoles, nous constatons que certaines pièces sont aérées en début de journée. Cette aération matinale est souvent mise en place uniquement après plusieurs jours de fortes chaleurs, ce qui limite l'impact à une période courte et ne permet pas de s'assurer d'avoir, par exemple, un bâtiment déchargé avant ces périodes : un stockage de fraîcheur les jours précédents la canicule aurait été bénéfique. Cette observation, affirmée par les retours usagers, montre que la gestion d'une canicule relève aujourd'hui d'une gestion ponctuelle, voire d'une gestion de crise, et que ce sujet n'est pas intégré dans la gouvernance de l'école. De plus, elles sont souvent très courtes (exemples de Tours et Grabels vus précédemment), ce qui a un effet sur le moment mais limité sur le temps et en intensité. Lorsque les fenêtres sont ouvertes 1 à 2 heures à partir de 7h-8h, la décharge n'a pas le temps d'être efficace. Cette aération peut également avoir un effet négatif si les fenêtres ne sont pas fermées dès que les températures extérieures deviennent supérieures aux températures intérieures ou quand ces ouvertures se font au détriment des protections solaires pour la façade orientée Est.

Malgré tout, cela reste une première étape. Une école se détache du lot en présentant des effets de surventilation plus importants. La Figure 12 illustre cette observation. Les analyses de ces courbes permettent d'observer que les fenêtres de l'établissement sont ouvertes très tôt, vers 5h30-6h. Cette heure de ventilation supplémentaire gagnée nous amène à constater des températures en début de journée plus faibles à l'intérieur et donc un potentiel de valorisation de la fraîcheur estivale mieux valorisé. Néanmoins, le potentiel pourrait être encore mieux valorisé grâce à une ouverture sur une plus longue durée.

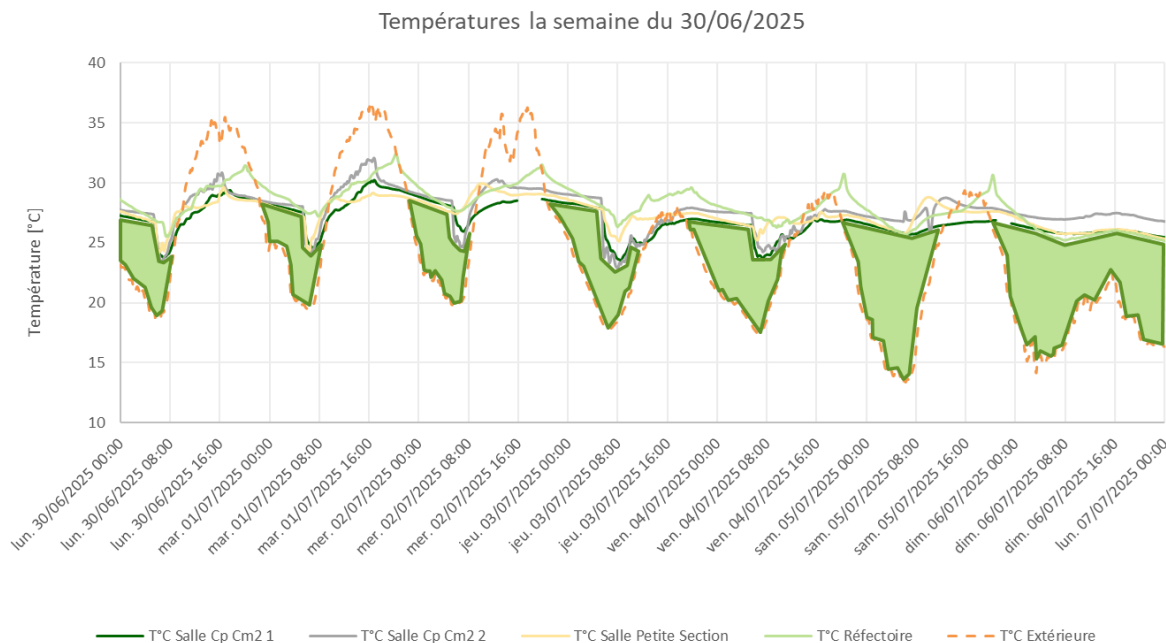


Figure 12 : Evolution des températures dans l'école de Saint Jean La Bussière sur une semaine (cas de ventilation en fin de nuit)

Les points de mesures peuvent être aussi observés individuellement suivant une représentation similaire à celle de la Figure 8 en y ajoutant une donnée correspondant à la taille des points. Cette représentation correspond au graphique de la Figure 13 et la taille des points correspond au nombre de fois, sur la période d'observation, où la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur à 6h du matin est supérieure à 6°C. Nous considérons en effet que si en fin de nuit, la différence entre l'intérieur et l'extérieur est toujours élevée, alors le potentiel de rafraîchissement nocturne n'est pas suffisamment exploité. Cette approche permet de constater qu'au sein d'un même bâtiment la mise en œuvre de la surventilation nocturne peut être différente selon les locaux. Par exemple, à Grabels et Mauvezin, les locaux les plus chauds en fin de nuit sont également ceux qui présentent des nombres d'heures en occupation pendant lesquelles la température intérieure est supérieure à 28°C les plus importants. Et sur d'autres établissements, cette vision permet de constater que la situation en fin de nuit est homogène. Cela confirme le besoin d'une approche globale.

Ces observations sont néanmoins à relativiser en fonction des bâtiments et des usages réels des locaux mais elles enrichissent dans tous les cas la compréhension du comportement thermique des écoles et des usages.

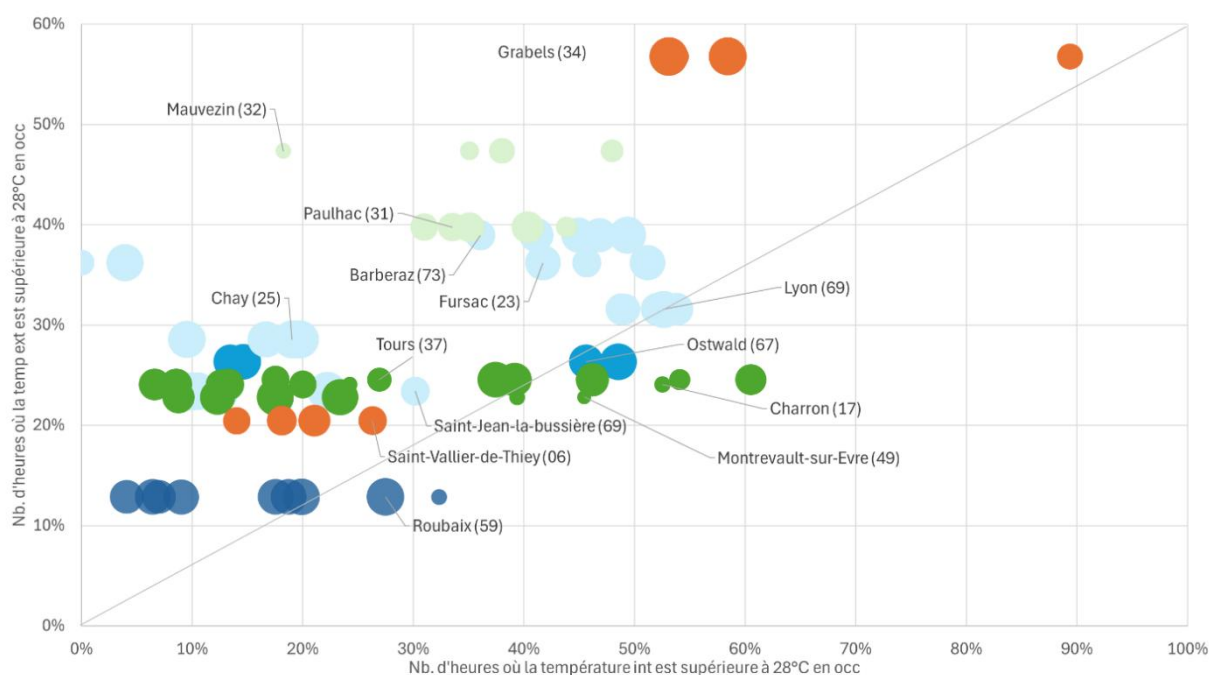


Figure 13 : Relation entre l'inconfort ressenti et la température extérieure et potentiel de rafraîchissement nocturne sur le mois de juin 2025

Retour des usagers

Interroger les usagers d'un bâtiment constitue une étape essentielle de l'évaluation en phase d'exploitation, notamment dans le cadre d'une démarche de type Post-Occupancy Evaluation (POE). Il s'agit non seulement de recueillir des perceptions, mais également d'objectiver certains usages, tout en inscrivant les occupants et occupantes dans une dynamique participative. Cela permet d'identifier les écarts entre les intentions de conception et les réalités d'usage, tout en favorisant l'émergence d'un dialogue entre les usagers, les concepteurs et les gestionnaires.

Dans le cadre du projet RACINE, le retour des usagers s'est appuyé sur une démarche de consultation du personnel des écoles, visant à recueillir des retours sur les conditions de confort et d'usage des bâtiments scolaires. La consultation a été menée au moyen de questionnaires en ligne, renseignés de manière anonyme afin de favoriser une expression libre et sincère des répondants et répondantes.

Le questionnaire était destiné à l'ensemble des catégories de personnel intervenant dans les écoles, incluant notamment les enseignant(e)s, les agent(e)s territoriaux spécialisé(e)s des écoles maternelles (ATSEM), les animateurs(rices) ACM ainsi que les agent(e)s municipaux. Au total, 220 membres du personnel ont participé à l'enquête, constituant l'échantillon analysé. Ce nombre correspond à un taux de réponse de 79% des usagers concernés par l'enquête. Ceci traduit une mobilisation élevée du personnel et confère une bonne représentativité aux résultats recueillis.

Les modalités de diffusion du questionnaire ont été adaptées au contexte de chaque établissement. La communication s'est appuyée sur une combinaison de mailings, d'affichages et de flyers, les supports retenus ayant été définis par les référents des écoles afin d'assurer une diffusion effective auprès des équipes concernées.

La consultation s'est déroulée en septembre 2025, période permettant d'interroger à la fois les conditions de confort rencontrées en fin de saison estivale et les perceptions associées aux périodes de mi-saison.

Les thématiques abordées dans le questionnaire couvrent l'ensemble des dimensions du confort et des usages au sein des bâtiments scolaires : confort d'été et de mi-saison, confort hivernal, confort visuel, confort acoustique, qualité de l'air intérieur, ainsi que les usages et pratiques liés aux équipements. Les questions et leurs formulations répondent à la norme en vigueur (NF ISO 10551-2019) et respectent les règles de bonnes pratiques du domaine (cf. exemple à la Figure 14).

*3. De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en période estivale ?

📌 Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

☐ Très froide

☐ Froide

☐ Légèrement froide

☐ Ni chaude ni froide

☐ Légèrement chaude

☐ Chaude

☐ Très chaude

*4. Dans le local principalement occupé, comment jugeriez-vous l'ambiance thermique en été dans votre bâtiment ?

📌 Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

☐ Confortable

☐ Légèrement inconfortable

☐ Inconfortable

☐ Très inconfortable

☐ Extrêmement inconfortable

Figure 14 : Exemple de questions posées via la plateforme SURYA Confort®

Une analyse par établissement a été réalisée et un pré-traitement a été proposé pour chaque référent (cf. exemple à la Figure 15). Quelques résultats globaux sont repris ci-après.

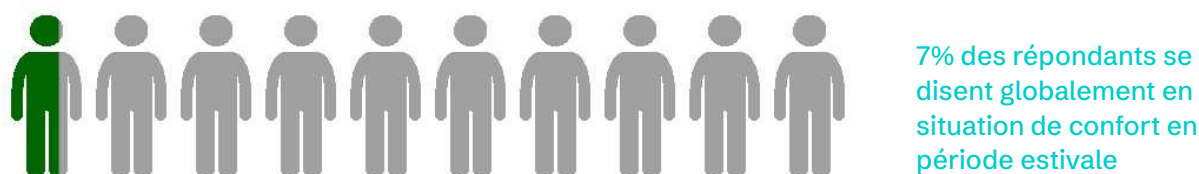


Figure 15 : Exemple de mise en forme des données proposées pour chaque école (SURYA Ingénierie)

Parmi les 220 répondants des 15 écoles, seuls 7% jugent l'ambiance 'confortable' en été et 33% la juge 'extrêmement inconfortable' (cf. Figure 16). 88% des répondants ne sont pas satisfaits du ressenti de température en été qu'ils jugent 'légèrement chaude' ou plus, avec 63% des répondants qui estiment ressentir une température 'très chaude' dans leur établissement (cf. Figure 17). Au-delà du niveau d'inconfort, il est important d'évaluer la fréquence de l'inconfort. A cette question, les réponses restent relativement

homogènes avec un inconfort constaté régulièrement pour 9% des répondants et ‘couramment’ et en permanence pour 64% des répondants (cf. Figure 18).

En toute logique, 91% des répondants estiment qu’en période estivale l’environnement intérieur est ‘peu tolérable’ voir ‘impossible à tolérer’ (cf.

Figure 19).

Ces différentes analyses confirment l’importance du ressenti chaud des usagers dans les écoles du panel. Malgré des données issues de l’instrumentation variable suivant les établissements, aucune différenciation n’est observée sur le ressenti exprimé. L’inconfort est exprimé quel que soit le territoire étudié. Cela confirme la nécessité d’agir afin de donner aux usagers des écoles des conditions d’usage confortable.

Ces consultations ont également permis de récolter des informations sur les équipements en présence, leurs états et leurs usages mais aussi les ressentis des usagers, le confort visuel, acoustique et la QAI (Qualité des Ambiances Intérieures). Ces précieuses informations permettent d’avoir une vision globale sur l’établissement, de comprendre certains usages (exemple : l’ouverture des fenêtres en cas de forte chaleur afin d’assurer une bonne qualité de l’air) et d’aiguiller les actions en fonction de ce qui est déjà fait et ce qu’il est possible de faire.

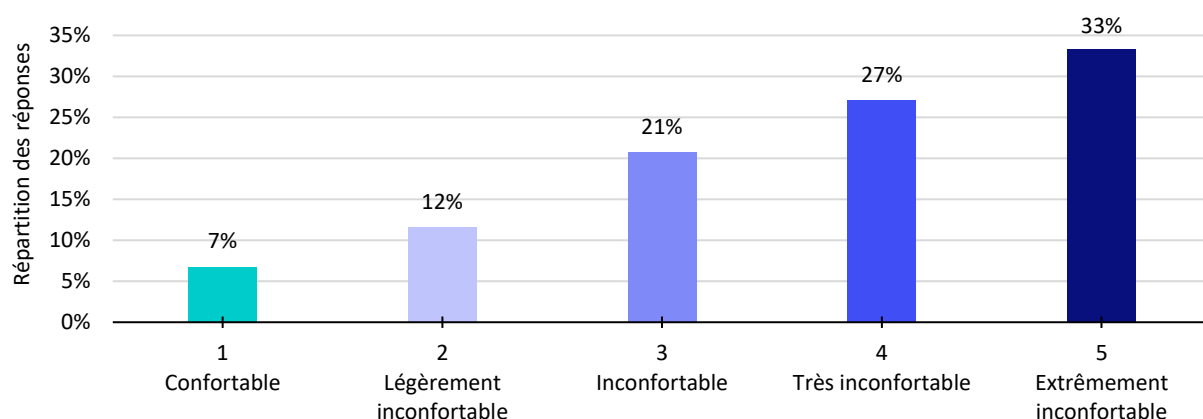


Figure 16 : De manière générale, comment jugeriez-vous l'ambiance thermique en été dans votre lieu de travail principal ? [% de répondants - 202 réponses]

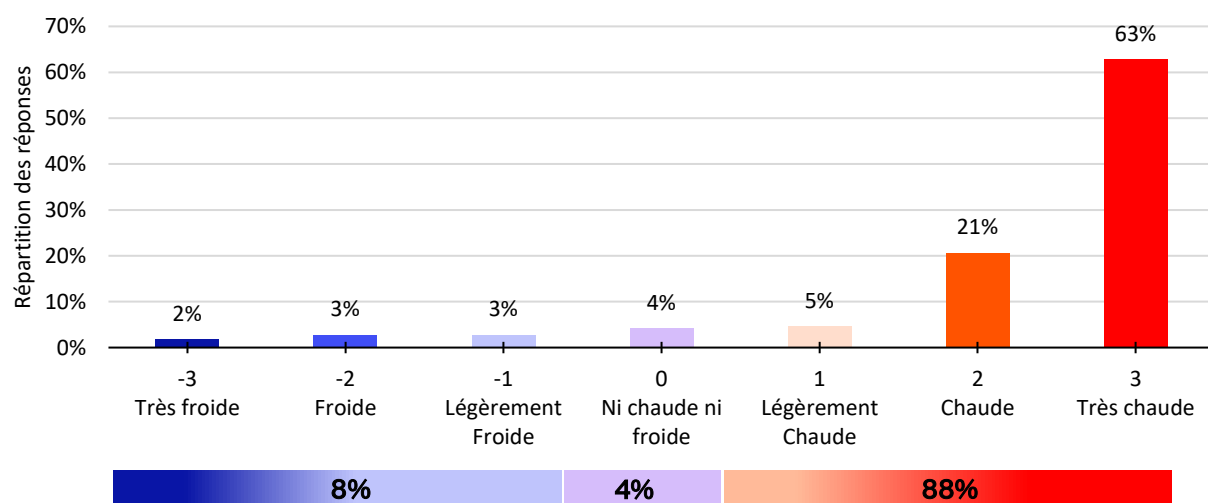


Figure 17 : De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en été ? [% de répondants - 220 réponses]

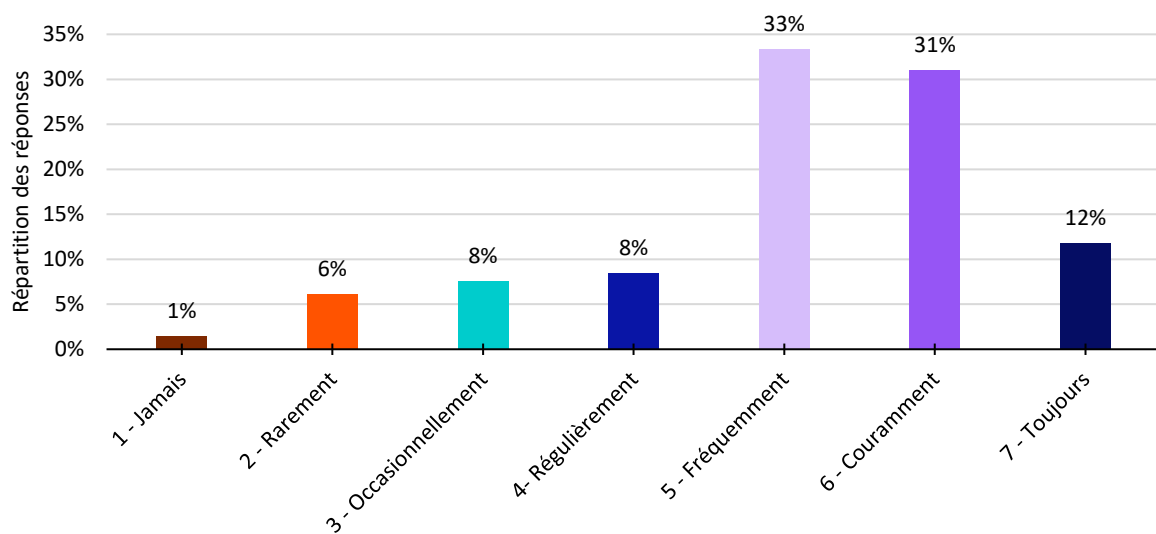


Figure 18 : En été, ressentez-vous une gêne importante relative au niveau de température intérieure (trop faible ou trop importante) ? [% de répondants - 220 réponses]

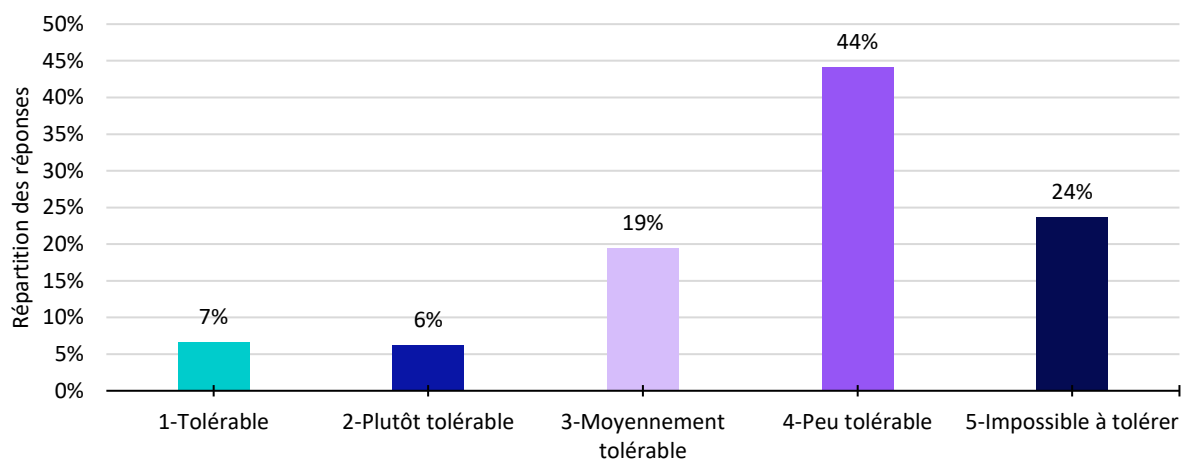


Figure 19 : À votre avis, en période estivale, l'environnement est-il... ? [% de répondants - 220 réponses]

Synthèse

Les résultats du volet diagnostic du programme RACINE dressent un tableau préoccupant mais instructif de la situation thermique des écoles de l'échantillon d'étude. Le confort d'été n'est aujourd'hui garanti dans aucun des 15 établissements étudiés, et la trajectoire climatique observée depuis plusieurs décennies ne laisse aucun doute sur l'aggravation à venir de cette situation.

L'étude démontre toutefois que des leviers d'action existent et sont accessibles. La décharge thermique nocturne, la protection solaire, et une meilleure gestion des usages (ventilation matinale, fermeture des ouvrants en journée) constituent des premières réponses lowtech efficaces, à condition d'être pensées de manière cohérente et intégrées dans une véritable gouvernance de l'établissement. La gestion actuelle, souvent ponctuelle et réactive, ne suffit pas face à des épisodes de chaleur qui se multiplient et s'intensifient.

Les phases suivantes du programme s'appuieront sur les enseignements tirés du diagnostic pour définir, école par école, un plan d'action sur mesure visant à réduire le stress thermique documenté en 2025. L'impact de ces actions sera évalué suivant la même méthodologie (POE) au cours de l'été 2026.

Le programme RACINE ouvrira ainsi la voie à une méthode d'adaptation reproductible à grande échelle, fondée sur une connaissance fine du comportement thermique des bâtiments et sur l'implication active des usagers, deux conditions indispensables pour faire des écoles des lieux résilients face aux défis climatiques du XXI^e siècle.

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation des écoles du panel RACINE	2
Figure 2 : Illustrations des écoles du panel RACINE.....	3
Figure 3 : Nombre de classe par école du panel RACINE.....	4
Figure 4 : Illustrations des capteurs déployés	5
Figure 5 : Observation des journées estivales et de forte chaleur et des nuits tropicales sur la période d'observation [du 17 juin 2025 au 15 septembre 2025]	7
Figure 6 : Bandes de réchauffement climatique de 4 écoles de l'échantillon RACINE - période de mai, juin et septembre uniquement	8
Figure 7 : Distribution du nombre d'heures > 28 °C en intérieur par école en fonction de la zone climatique réglementaire.....	9
Figure 8 : Relation entre l'inconfort ressenti et la température extérieure sur l'ensemble de la période d'observation	10
Figure 9 : Evolution des températures au sein de l'école de Tours lors de la semaine du 26 juin 2025	12
Figure 10 : Evolution des températures au sein de l'école de Grabels lors de la semaine du 27 juin 2025.....	12
Figure 11 : Evolution des températures sur l'école de Grabels sur une semaine (cas de non-ventilation nocturne).....	14
Figure 12 : Evolution des températures sur Saint Jean La Bussière sur une semaine (cas de ventilation en fin de nuit)	15
Figure 13 : Relation entre l'inconfort ressenti et la température extérieure et potentiel de rafraîchissement nocturne sur le mois de juin 2025	16
Figure 14 : Exemples des questions posées via la plateforme SURYA Confort®	17
Figure 15 : Exemple de mise en forme des données proposées pour chaque école (SURYA Ingénierie)	17
Figure 16 : De manière générale, comment jugeriez-vous l'ambiance thermique en été dans votre lieu de travail principal ? [% de répondants - 202 réponses]	18
Figure 17 : De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en été ? [% de répondants - 220 réponses]	18
Figure 18 : En été, ressentez-vous une gêne importante relative au niveau de température intérieure (trop faible ou trop importante) ? [% de répondants - 220 réponses]	19
Figure 19 : À votre avis, en période estivale, l'environnement est-il...? [% de répondants - 220 réponses]	19

Programme
financé
par



En
partenariat
avec



programme-cee-actee.fr

Mentions légales :
ACTEE (SASU FNCCR), siège social : 20, bd de La Tour-Maubourg, 75007 Paris
Bureaux : 19, rue Cognacq-Jay, 75007 Paris
Numéro Siret : 97865712000017, Numéro APE : 7112B
Guillaume Perrin, Directeur SASU FNCCR

actee@fnccr.asso.fr