

Rénovation des écoles : Intégrer le confort d'été

Guide pratique pour accompagner
les décideurs locaux, les élus
et les techniciens

ÉDURÉNOV

Simplifier la rénovation énergétique des écoles : de la crèche à l'université



Novembre 2024





Édito

Et si nous anticipions les fortes chaleurs d'été dès maintenant ?

Le programme EduRénov est un dispositif d'intérêt général pour accompagner les communes, départements et régions dans la rénovation de leurs établissements scolaires – crèches, écoles, collèges, lycées. Ce programme, porté par la Banque des Territoires et ses partenaires, est un outil de transformation des territoires en prenant comme exemple le bâtiment scolaire.

Collectivement, en mobilisant les compétences de chacun, chaque projet devient une occasion d'améliorer dès aujourd'hui le bien-être des élèves, de réduire l'impact énergétique et d'anticiper les défis climatiques de demain.

La question du confort d'été, encore insuffisamment traitée, est pourtant essentielle dans les établissements scolaires et devient une priorité pour les maîtres d'ouvrage. Avec la montée en fréquence et en intensité des vagues de chaleur, il est crucial de concevoir des espaces où les élèves et les enseignants peuvent travailler dans de bonnes conditions, même en été. Une chaleur excessive réduit la concentration des élèves, provoque fatigue et stress, et impacte leurs résultats scolaires. Les enfants, particulièrement sensibles à la chaleur, voient leur bien-être et leur apprentissage affectés. Intégrer des solutions pour assurer le confort d'été dans les rénovations scolaires, c'est garantir des conditions favorables à la réussite de tous et à garantir également les conditions de travail des enseignants et du personnel de l'établissement. C'est aussi un engagement envers nos enfants et enseignants.

Avec EduRénov et ses partenaires, dont fait partie le Cercle Promodul / INEF4, chaque projet de rénovation se transforme en réflexion sur des solutions concrètes et durables : protections solaires, végétalisation des abords pour créer des zones de fraîcheur, amélioration de la ventilation naturelle, ou encore les stratégies de surventilation nocturne pour baisser les températures. Ces dispositifs, adaptés à chaque établissement, permettent de maintenir un environnement agréable, propice à l'apprentissage même en pleine chaleur.

Plus qu'un programme de modernisation, EduRénov offre aux collectivités un accompagnement complet, de l'ingénierie au financement, en passant par la mise en réseau avec des experts en rénovation écologique. Nous construisons un avenir sain et durable pour la communauté éducative et assurons le bien-être des générations futures dans des établissements plus résilients et plus confortables toute l'année.

Ensemble, préparons nos établissements aux défis climatiques et assurons le bien-être que nous devons aux élèves, aux enseignants et à toute la communauté éducative.



Nicolas Turcat
Directeur du Programme EduRénov



Sommaire



Édito _____ 3

Préface _____ 7

01

Réchauffement climatique et adaptation des bâtiments _____ 8

02

Les causes d'inconfort d'été : notions générales _____ 12

03

Les effets de la chaleur sur le corps humain _____ 15

04

Mieux intégrer le confort été dans l'existant : principes généraux et exemples de solutions complémentaires _____ 22

- Végétaliser le bâtiment et son environnement
- Réduire les apports de chaleur par les parois opaques
- Maîtriser les apports solaires par les parois vitrées
- Ventiler et évacuer la chaleur
- Utiliser des systèmes de refroidissement actif lors d'épisodes de canicule
- Contrôler et gérer les installations techniques du bâtiment
- Adapter les bons comportements pour garantir l'efficacité des solutions

05

Analyse des typologies du parc français des écoles primaires _____ 40

06

Les typologies d'écoles : caractéristiques et intégration du confort d'été _____ 43

- Les écoles du 19^{ème} siècle à 1948
- Les écoles de 1948 à 1975
- Les écoles de 1975 à 2000
- Les écoles après 2000

07

Synthèse & recommandations _____ 57

Remerciements _____ 59

Références et crédits photos _____ 61

Bibliographie _____ 62

Préface



Les écoles primaires françaises, véritable patrimoine éducatif, sont aujourd'hui confrontées à un défi de taille : comment rénover un parc de plus de 50 000 établissements en tenant compte des spécificités architecturales, historiques et thermiques de chacun ?

La diversité des bâtiments scolaires, qu'ils soient anciens ou plus récents, offre un potentiel considérable pour améliorer le confort thermique tout en réduisant les coûts énergétiques. Cependant, cette tâche s'avère complexe, d'autant que de nombreuses collectivités manquent de ressources techniques et financières pour mener à bien de tels projets quand 66% des écoles sont situées dans des communes de moins de 10 000 habitants.

À l'heure où les enjeux climatiques s'intensifient, il est impératif que les collectivités prennent conscience de l'importance d'une approche globale et intégrée lors de la rénovation de leurs bâtiments scolaires. En France, les prévisions climatiques laissent peu de place à l'inaction.

Météo France estime en effet que la fréquence des vagues de chaleur pourrait doubler d'ici à 2050, et ces épisodes seront encore plus marqués en fin de siècle, avec des températures plus élevées et d'une durée plus longue. Dès lors, ne pas adapter les bâtiments scolaires aux nouvelles conditions climatiques reviendrait à compromettre la santé des occupants ainsi que leur capacité à y enseigner/apprendre dans des conditions favorables, et accentuerait également les inégalités territoriales entre établissements plus ou moins bien équipés.

Ce guide se veut être un outil essentiel pour accompagner les décideurs locaux dans la prise en compte du confort d'été, souvent oublié au profit de travaux en vue de réaliser des économies d'énergie en période hivernale. Pourtant, le bien-être des élèves et des enseignants dépend tout autant des conditions thermiques estivales que des températures hivernales. En intégrant une vision pluridimensionnelle des besoins des bâtiments scolaires, ce guide vise à enrichir les réflexions sur la conception et la rénovation des établissements d'enseignement.

Il est essentiel de considérer que l'optimisation du confort d'été ne peut pas être envisagée de manière isolée. Une stratégie efficace nécessite l'intégration de solutions techniques variées, qui doivent s'anticiper

dans le cadre de projets de rénovation afin de diminuer la surchauffe des salles de classe, favorisant ainsi un environnement d'apprentissage optimal.

Au-delà des spécificités architecturales et matérielles, le confort thermique dans les écoles relève également de l'évolution des pratiques et des comportements. Les solutions techniques, aussi performantes soient-elles, ne suffisent pas à garantir un environnement de travail optimal pour les élèves et le personnel enseignant si elles ne s'accompagnent pas d'une sensibilisation et d'une gestion efficace des équipements.

Cette approche holistique, qui associe des actions techniques à une gestion avisée des biens, est essentielle pour répondre aux défis climatiques actuels. Le confort d'été ne doit pas être considéré comme une simple option, mais comme un impératif pour favoriser un environnement propice à l'apprentissage. Les études montrent que des températures élevées peuvent nuire à la concentration des élèves et, par conséquent, à leur performance scolaire. Il est donc crucial d'intégrer ces considérations dans le processus de rénovation afin de garantir des conditions d'apprentissage adéquates.

En proposant des recommandations pratiques adaptées aux typologies de bâtiments pour répondre aux besoins spécifiques des collectivités, ce guide aspire à devenir une référence pour ceux qui souhaitent conjuguer efficacité énergétique et bien-être des occupants. Il vise à offrir aux collectivités un ensemble de pistes de réflexion et de solutions concrètes pour anticiper l'avenir et s'adapter aux défis climatiques.

Il s'agit d'une invitation à penser différemment la rénovation des écoles, en considérant non seulement les économies d'énergie, mais aussi la qualité de vie de ceux qui évoluent dans ces espaces au quotidien. La question du confort thermique, particulièrement en été, ne peut être résolue par des interventions isolées. Chaque élément, qu'il s'agisse de la structure même du bâtiment, des équipements installés, de leur gestion et de l'environnement extérieur, contribue à un ensemble cohérent et doit être traité avec soin.

L'objectif est simple : bâtir un cadre de vie sain, confortable et durable. L'avenir de nos écoles repose sur notre capacité à anticiper et à répondre aux enjeux climatiques, tout en adoptant des solutions éclairées et responsables pour le bien-être des générations futures.

Jean-Luc BUCHOU
Délégué Général Cercle Promodul / INEF4



01

Réchauffement climatique et adaptation des bâtiments

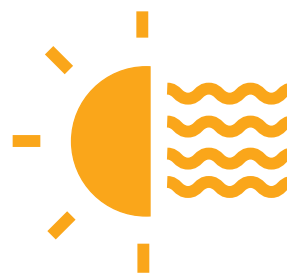
S'interroger sur le changement climatique et ses effets sur le secteur du bâtiment est indispensable pour anticiper les défis futurs, protéger le patrimoine, assurer le confort des occupants, optimiser les investissements et contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique.

Il s'agit d'une démarche proactive qui vise à rendre les bâtiments plus résilients, durables, et adaptés aux conditions changeantes, tout en réduisant leur impact environnemental.

C'est un véritable enjeu pour les territoires et les collectivités, en particulier lorsqu'elles ont la responsabilité de la gestion, de la maintenance et du suivi des bâtiments avec l'incontournable question des besoins en ressources financières pour faire face à ces obligations.

Avec des pics de chaleur répétés et de plus en plus intenses, la problématique du confort thermique d'été est aujourd'hui fondamentale. Dans son scénario le plus pessimiste, le GIEC prévoit un réchauffement mondial qui continuera d'augmenter pour se stabiliser à 3°C en 2100.

Face à cette réalité, le constat est sans appel : beaucoup de bâtiments ne sont pas adaptés et leur conception face aux surchauffes a trop longtemps été négligée.



Selon Météo France, la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur « devraient augmenter au cours du siècle, avec un rythme différent entre l'horizon proche (2021-2050) et la fin de siècle (2071-2100). La fréquence des événements devrait doubler d'ici à 2050. En fin de siècle, ils pourraient être non seulement bien plus fréquents qu'aujourd'hui mais aussi beaucoup plus sévères et plus longs, avec une période d'occurrence étendue de la fin mai au début du mois d'octobre »¹.



Les écoles ne sont pas épargnées par ce phénomène, et beaucoup voient leur température intérieure fortement augmenter lors d'épisodes de chaleur. Cela a des conséquences, à la fois sur le confort, mais par effet ricochet, sur la santé et la productivité des élèves et des enseignants.

Cette réflexion est d'autant plus importante que, dans bien des cas, la nécessaire et indispensable rénovation énergétique des

bâtiments est envisagée avec une logique « hiver » (réduire les besoins de chauffage) sans systématiquement adopter une vision globale.

Pour éviter que la rénovation énergétique n'ait des effets contre-productifs sur le confort en été, il est essentiel d'adopter une approche qui tienne compte à la fois de l'efficacité énergétique et du confort thermique saisonnier toute l'année.

Rapport d'information de l'Assemblée Nationale



L'adaptation des bâtiments scolaires au changement climatique constitue un impératif sur le plan environnemental pour limiter les dépenses énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre mais aussi pour assurer un confort thermique favorable au travail et à l'apprentissage².

1.3 million d'enfants

fréquentant les écoles maternelles pourraient être exposés en classe à une chaleur excédant les 35°C d'ici à 2030, soit près d'une classe sur deux en France. (d'après le rapport Oxfam³)

Le confort d'été en milieu scolaire est désormais un enjeu de santé publique qui soulève de nombreuses problématiques : difficultés d'accueil et de fonctionnement, impacts sur la santé des enfants (surtout les plus jeunes, qui représentent une population particulièrement vulnérable à la chaleur, notamment en cas d'épisodes extrêmes de canicule), impacts sur le suivi et la scolarité, etc.

L'enjeu est alors double : limiter la montée des températures à l'intérieur des bâtiments scolaires tout en garantissant un niveau de confort permettant des conditions d'apprentissage acceptables.

Et avec un parc bâti scolaire globalement peu performant thermiquement, la nécessité de rénover pour adapter les écoles aux impacts du changement climatique se fait de plus en plus pressante. Cette rénovation implique la prise en compte d'un ensemble d'éléments pour limiter autant que possible l'utilisation de systèmes de refroidissement actif.

Il est donc essentiel de veiller à ce que les solutions retenues restent respectueuses de l'objectif de maîtrise des consommations. Il serait contre-productif de considérer l'installation de systèmes de climatisation comme seul recours exclusif aux risques d'inconfort été, traduisant une mauvaise approche qui indiquerait :

- que les projets de rénovation auraient été mal conçus ;
- que les réflexions préalables sur la gestion des périodes hors-saison de chauffe n'auraient pas été convenablement menées.



Limiter l'impact du réchauffement climatique sur les écoles doit s'opérer par une approche systémique, et il est primordial de prendre en considération un ensemble d'éléments pour maximiser les effets. Des solutions, y compris en rénovation, limitent la hausse des températures intérieures.



Tenir compte de l'environnement direct d'un bâtiment : climat, végétalisation, emploi de l'eau, ambiance minérale, organisation de l'espace urbain, etc.



Tenir compte de la structure et de l'enveloppe du bâtiment : orientation, pièces traversantes avec des ouvertures en opposition, choix des matériaux, protection solaires et isolation performante, etc.



Tenir compte des systèmes technologiques déjà existants : ventilation mécanique ou naturelle, gestion automatisée ou non des protections mobiles, puits géothermiques, etc.

Veiller à ce que les solutions retenues restent respectueuses de l'objectif de maîtrise des consommations est essentiel (et donc éviter comme seul recours exclusif l'installation de systèmes de climatisation).



ÉCOLES EN MILIEU URBAIN ET ÎLOTS DE CHALEUR : UN DÉFI POUR LE CONFORT D'ÉTÉ

Les Îlots de Chaleur Urbains (ICU) résultent d'une urbanisation dense et minéralisée, amplifiée par l'absence d'espaces verts, une forte densité de bâtiments, la présence de matériaux imperméables (bitume, asphalte, béton, etc.) ainsi que les activités humaines.

Ces éléments empêchent la dissipation de la chaleur et la baisse des températures la nuit lors des vagues de chaleur. Ce phénomène est particulièrement problématique pour les écoles en milieu urbain dense, où dès le matin, élèves et enseignants retrouvent des bâtiments « déjà chauds », ce qui accroît l'inconfort.

Pour atténuer ces effets, il est crucial de repenser l'aménagement des espaces extérieurs des écoles lors des rénovations. En complément des solutions technologiques, des actions comme la végétalisation des abords, la création d'îlots de fraîcheur et la réduction des surfaces minéralisées (cours, trottoirs) sont essentielles pour améliorer le confort thermique et renforcer l'efficacité des autres mesures mises en œuvre au niveau du bâtiment.



Mieux appréhender le confort d'été

Deux éléments sont à considérer dans la recherche d'un meilleur confort d'été :



Limiter la montée en température du bâtiment (protections solaires en paroi vitrées, murs / toitures végétalisé(e)s, isolation des parois opaques, travail sur l'inertie du bâti, systèmes de ventilation naturelle, surventilation nocturne, surfaces claires, etc.) ;



Limiter la consommation énergétique de rafraîchissement via des solutions économes en énergie qui permettront de préserver le confort (systèmes de ventilation, brasseurs d'air, géocooling, rafraîchissement adiabatique, puits climatique, etc.).

Ces techniques permettent de conserver, hors canicule, une température intérieure acceptable tout en étant peu ou pas consommatrices en énergie. Elles réduisent donc les besoins énergétiques des bâtiments en retardant le recours à des systèmes actifs (climatisation).

L'atténuation de la chaleur ressentie dans les bâtiments ne dépend pas uniquement des améliorations à apporter sur les structures ou sur les équipements, mais également des comportements des occupants qui jouent un rôle essentiel dans cette recherche



Réchauffement climatique et adaptation des bâtiments

Anticiper le confort estival lors de la rénovation énergétique d'une école est nécessaire pour créer un environnement d'apprentissage sain, confortable, et efficace.

Cela contribue à la santé et au bien-être des élèves et du personnel, améliore les performances scolaires, réduit les coûts énergétiques, et garantit un projet de rénovation durable.

En intégrant cette dimension dès la phase de conception, l'école peut assurer un confort optimal tout au long de l'année, tout en étant économe en énergie et respectueuse de l'environnement.



02

Les causes de l'inconfort d'été : notions générales

Des températures extérieures élevées ne sont pas, à elles-seules, responsables de la sensation d'inconfort dans un bâtiment.

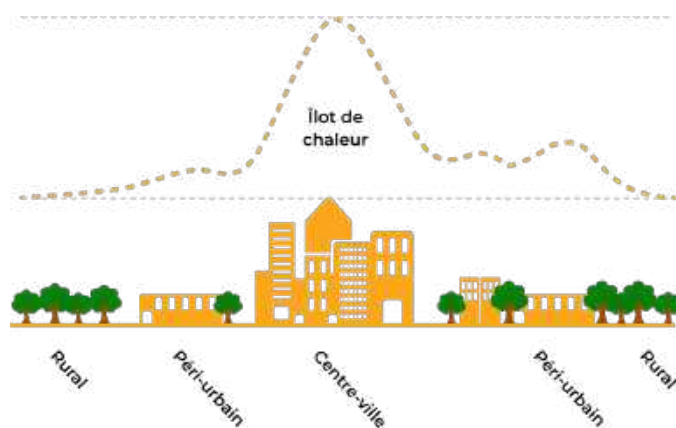
Une meilleure compréhension des sources de chaleur et des facteurs qui les amplifient est nécessaire pour mieux aborder les solutions envisageables et les gestes d'amélioration.

L'environnement immédiat du bâtiment

Cet impact est non négligeable sur la chaleur ressentie : la sensation d'inconfort ne sera pas similaire selon que l'établissement soit situé en milieu urbain, péri-urbain ou rural.

Des écarts de température, pouvant aller jusqu'à 10°C, peuvent être constatés entre un espace urbain, péri-urbain et rural (en cause, l'effet d'îlot de chaleur).

La notion d'inconfort d'été ne sera donc pas identique selon si le bâtiment est situé en zone très végétalisée ou très urbanisée.



Pour abaisser la température entre le coucher et le lever du soleil, il convient d'intervenir autour des bâtiments, à commencer par les cours de récréation.

En effet, ces cours, fortement bitumées, amplifient les phénomènes d'îlots de chaleur. Les revêtements sombres des cours goudronnées, exposés à un fort rayonnement solaire (dans un contexte d'épisodes de chaleur), peuvent atteindre des températures de surface de 50° à 60 °C sous l'effet de l'albédo ⁴.

Cette chaleur se diffuse à l'environnement immédiat et réchauffe l'air ambiant, générant une zone de courant d'air chaud qui se diffuse à l'intérieur des établissements faisant naître une sensation d'inconfort.

Certes, les cours bitumées sont une des causes de ce phénomène mais on peut l'étendre à tout environnement proche fortement minéralisé dans et autour des établissements.

Repenser l'environnement immédiat : l'exemple des cours Oasis

Les cours de récréation, telles que nous les connaissons, sont très souvent structurées autour d'une grande surface asphaltée et imperméable avec peu d'arbres ⁴.

Les cours « Oasis » ont permis de redonner une place centrale à la nature en étant pensées comme des îlots de fraîcheur ⁵.

En sus des effets positifs en matière de régulation des températures et de confort l'été, ces nouvelles manières de penser la cour de récréation permettent d'offrir aux élèves un espace mieux partagé, diversifiant les jeux et usages (espaces de motricité, de repos et pédagogiques permettant de favoriser l'intérêt pour la biodiversité, etc.).

Exemple de réorganisation d'une cour à Meyrargues (étude CAUE13)



Source : Amélioration du confort d'été : les écoles, EnvirobotBDM, CAUE13, juin 2023

L'architecture et la typologie des bâtiments scolaires

Longtemps considérée comme secondaire face aux enjeux de réduction des consommations énergétiques, la typologie des bâtiments (par leur organisation, la nature des matériaux, les grandes surfaces vitrées sans protections, etc.) constitue une des sources majeures d'inconfort.

On peut par exemple noter de nombreuses causes : une isolation défectueuse, des systèmes d'ouverture des fenêtres inexistantes ou limités pour des raisons de sécurité, une ventilation insatisfaisante, des façades vitrées exposées au soleil sans protections solaires (ou inadaptées), ou encore des locaux aménagés sous les toits mais non pensés pour gérer les questions d'inconfort, les rendant parfois invivables dès que les températures augmentent.

Les apports solaires

Particulièrement recherchés en hiver comme contributeurs gratuits au chauffage d'un bâtiment, ils sont en été une cause majeure d'inconfort⁶, via :



Les parois vitrées, bien qu'essentielles pour assurer des apports lumineux favorables, peuvent être une source majeure d'élévation de la température intérieure. Ce phénomène s'explique par la transmission du rayonnement solaire, notamment infrarouge, à travers les vitrages. Cette chaleur, amplifiée en été, est directement liée à l'orientation, à la surface des vitrages, à leur exposition sans ombrage et surtout sans protection appropriées. Ces caractéristiques influencent considérablement le bilan thermique des bâtiments.



Les parois opaques, constituent une part importante de l'enveloppe du bâtiment et jouent un rôle déterminant dans les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur. La nature des matériaux utilisés est essentielle : une isolation performante permet de limiter les transferts de chaleur, mais elle doit être complétée par une bonne inertie thermique grâce à des éléments lourds en contact avec l'ambiance intérieure, capables d'absorber et de restituer lentement la chaleur. Enfin, la couleur des matériaux extérieurs joue aussi un rôle sachant que des teintes claires reflètent mieux le rayonnement solaire.



Les apports internes

Une forte présence humaine (en 2022 une classe est composée de 22 élèves en moyenne ⁷), les éclairages, les équipements informatiques et électriques constituent des sources d'élévation de température non négligeables en période de canicule. Dans les bâtiments, l'atténuation de la chaleur ressentie ne dépend donc pas uniquement des améliorations à apporter sur les structures ou sur les équipements : les comportements jouent également un rôle



DES GESTES SIMPLES

Sachant que 30 élèves dans une classe émettent autant de chaleur qu'un radiateur de 3 000 W ⁸, des gestes simples peuvent être mis en place pour atténuer le ressenti des fortes chaleurs :

- Réduire les entrées d'air chaud en anticipant la fermeture des fenêtres et des protections solaires (sans les ouvrir en journée) ;
- Assurer des courants d'air et un brassage de l'air chaud pour en favoriser l'évacuation ;
- Limiter l'utilisation de sources de chaleur (appareils électroniques, éclairage) ;
- Refroidir les locaux en faisant circuler abondamment l'air en deuxième partie de nuit jusqu'en début de matinée, lorsque les températures sont les plus fraîches (nécessite une assistance technologique ou/et une information et une routine du personnel arrivé en premier dans les locaux).

03

Les effets de la chaleur sur le corps humain

La régulation de la température corporelle constitue une interaction complexe entre les conditions environnementales et les mécanismes physiologiques du corps humain.

Cette interaction permet au corps de maintenir une température interne stable (autour de 37°C) grâce à un équilibre permanent entre les apports et les pertes de chaleur, essentiel pour le bon fonctionnement des organes et des systèmes biologiques.

Lorsque l'environnement est chaud, le corps a tendance à absorber plus de chaleur. Pour éviter une augmentation excessive de la température corporelle interne, le corps réagit essentiellement par la vasodilatation (les vaisseaux sanguins se dilatent pour augmenter le flux sanguin près de la surface de la peau) et la transpiration (l'évaporation de la sueur de la surface de la peau aide à refroidir le corps).

Généralement, la température de confort de l'air extérieur pour un être humain se situe entre 20 et 27°C, avec un taux d'humidité oscillant entre 40 et 60%.

Au-dessus de ces seuils, l'organisme est contraint de s'adapter en modifiant son fonctionnement. La réaction physiologique pour évacuer l'excès de chaleur va se structurer autour de **quatre actions différentes** (liées aux règles physiques des échanges d'énergie thermique) concomitantes se produisant au niveau de la peau (qui constitue l'enveloppe extérieure du corps en contact avec l'ambiance) :



Par radiation : la chaleur est transportée vers les extrémités, puis l'extérieur, sous forme de rayonnement ;



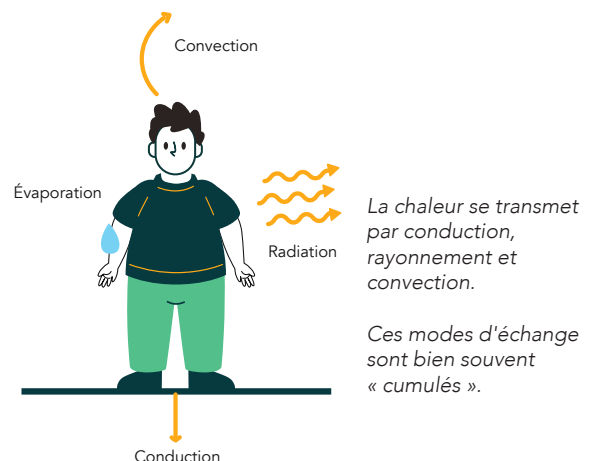
Par conduction : la chaleur est transmise à l'objet, plus frais, avec lequel le corps est en contact ;



Par évaporation de la transpiration : la sudation permet de refroidir le corps ;



Par convection, en particulier avec l'air : plus la vitesse de déplacement de l'air est importante, plus le transfert de chaleur augmente.





POURQUOI EST-ON PLUS VULNÉRABLE À LA CHALEUR ?

Le corps peut difficilement évacuer la chaleur dans un environnement déjà chaud à cause des rayonnements du soleil (empêchant l'évacuation par radiation ou convection dans l'air ambiant), d'une température élevée ou d'un air déjà saturé en humidité (la transpiration ne peut jouer pleinement son rôle de thermorégulateur) ou d'une absence de ventilation ou de circulation d'air (limitant les échanges par convection).

D'autant que les ressentis de chaleur varient selon que l'on se situe à l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment :

- **En extérieur**, le corps perçoit des variations de température, des brises, et autres stimuli naturels qui peuvent atténuer la sensation de chaleur ;
- **En intérieur**, la chaleur peut s'accumuler et atteindre des niveaux plus élevés que ceux observés à l'extérieur. Les variations de température sont ainsi beaucoup plus limitées, rendant la chaleur plus constante et oppressante. De plus, l'absence de visuels apaisants, comme le ciel ou la verdure, peut psychologiquement amplifier la perception de la chaleur.

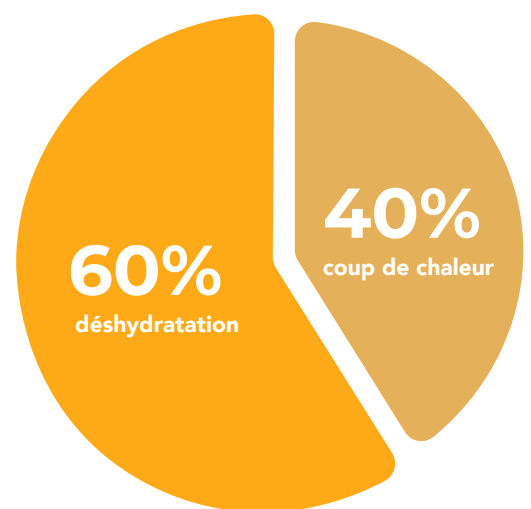
Compte-tenu de la difficulté de l'organisme à faire face à la chaleur, un « stress thermique » peut s'opérer et surcharger le système de régulation de la température corporelle, provoquant une transpiration excessive et augmentant le risque de déshydratation, de fatigue, et de confusion mentale.

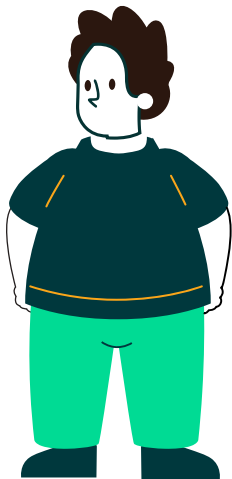
De façon prolongée, le stress thermique peut affaiblir le système immunitaire et aussi engendrer une irritabilité, une anxiété, une baisse de la concentration, et les tâches qui nécessitent une attention soutenue ou une prise de décision deviennent plus difficiles à accomplir.

Selon l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS), pour les adultes au-delà de « 30°C pour une activité sédentaire et 28°C pour un travail nécessitant une activité physique, la chaleur peut constituer un risque » pour la santé ² : grande faiblesse, grande fatigue, étourdissements, vertiges, troubles de la conscience, nausées, vomissements, crampes musculaires, etc.

Les enfants et la gestion de la chaleur : une question de santé prioritaire

Au cours de l'été 2019, **1 646 enfants** âgés de moins de six ans ont été pris en charge par un service d'urgence hospitalière pour une pathologie en lien avec la canicule. Une déshydratation a été le principal motif de consultation (60% des passages) et a nécessité une hospitalisation dans trois quarts des cas. Le coup de chaleur représentait 40% des passages et a rarement nécessité une hospitalisation (7%) ⁹.





Pourquoi les enfants sont-ils plus vulnérables que les adultes à la chaleur ¹⁰ ?

Les enfants présentent les mêmes structures de thermophysiology que l'adulte. Cependant, **il existe chez l'enfant des spécificités de thermorégulation liées aux dimensions corporelles et au métabolisme**, qui les affectent particulièrement et les rendent plus vulnérables lors d'une exposition à une chaleur importante :

—> **Les enfants absorbent davantage la chaleur et élèvent plus vite leur température : proportionnellement, ils possèdent une surface corporelle plus grande que les adultes (d'environ 30 à 36%)**, ce qui implique des transferts de chaleur avec l'environnement plus importants et plus rapides (et donc un désavantage en période de chaleur). **C'est le facteur le plus important à considérer pour expliquer la sensibilité des enfants à la chaleur.**

—> **Le corps d'un enfant ne sait pas encore tout à fait réguler sa température** : une taille inférieure des glandes sudoripares eccrines (glandes produisant de la sueur), ainsi qu'un système de contrôle thermique en cours de développement, expliquent ce phénomène. En cas de chaleur et forte humidité, l'enfant a du mal à garder sa température constante et à refroidir son corps.

—> **A activité physique égale, les enfants ont un métabolisme de base plus élevé, signifiant qu'ils produisent plus de chaleur interne.** En général, les enfants ont une proportion plus importante de masse maigre (muscles), par rapport à leur taille, que les adultes. L'énergie musculaire libérée étant beaucoup plus grande, ils ont proportionnellement une élévation de leur température interne supérieure à celle de l'adulte (pour un même exercice). En période estivale, les enfants peuvent alors rapidement accumuler un excès de chaleur.

—> **Les enfants ont un besoin en eau plus grand par kg de poids corporel que les adultes** Compte-tenu des trois premiers facteurs cités, ils peuvent rapidement perdre de grandes quantités d'eau par transpiration et se déshydrater.

Comparativement à l'adulte, les capacités d'adaptation comportementale des enfants sont réduites, par exemple :

- Ils n'ont pas la capacité de faire un choix autonome de leurs vêtements pour réguler la chaleur ;
- Le respect de certaines consignes peut être difficile : rester en intérieur, jouer à l'ombre, porter un chapeau, mettre de la crème solaire, etc. ;
- Ils n'ont pas toujours le réflexe de demander à boire et vont davantage dépendre d'un tiers pour leur bonne hydratation ;
- Ils sont peu au courant des dangers liés à la chaleur : expriment difficilement leur inconfort et ne reconnaissent pas forcément les signes d'alerte d'un coup de chaleur.

Et ces attentions doivent être renforcées sur les enfants présentant des pathologies pouvant s'aggraver durant ces épisodes de chaleur (asthme, allergies, diabète, etc.), ou encore sur ceux en situation de handicap.



Dans le coup de chaleur, les mécanismes qui contribuent normalement à la régulation thermique sont inopérants. La température corporelle augmente rapidement, pouvant dépasser 40°C.

L'hyperthermie peut s'accompagner de troubles de la conscience (sommolence ou au contraire, irritabilité, agitation inhabituelle) et d'une pâleur. Chez le jeune enfant, le coup de chaleur est principalement lié à une exposition prolongée à des températures ambiantes élevées : expositions prolongée au soleil ou en endroits clos (voiture, pièce mal ventilée...) ⁹.

Quels sont les signaux ?



Maux de tête



Vertiges & malaises



Propos incohérents



Fatigue inhabituelle



Fièvre supérieure à 38°C



Crampes



Sommolence, enfant abattu



Enfant agité, irritable, respiration rapide

Les impacts de la température élevée sur l'apprentissage

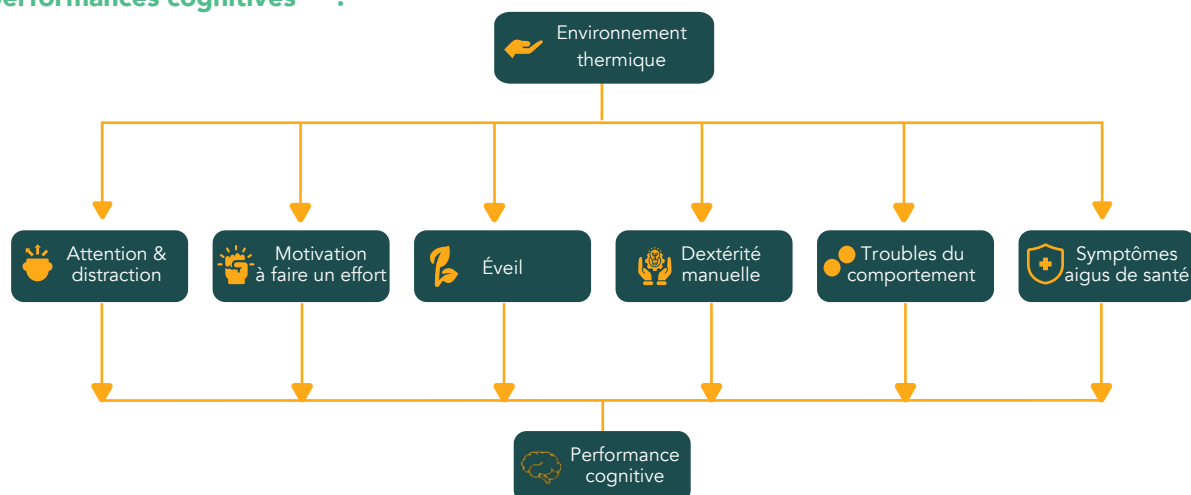
Les impacts de la chaleur sur la santé ne sont pas sans conséquence sur les performances scolaires des élèves, qui diminuent lorsque la température des salles de classe devient trop élevée ² : au-delà des difficultés de concentration, les effets des coups de chaleur peuvent fortement compromettre l'apprentissage.

Plusieurs études réalisées par le suédois David Wyon et le danois Pawel Wargocki, ont permis de montrer dans quelle mesure les performances des élèves diminuent en fonction de la température dans les locaux ¹¹. Par exemple :



- Dans les années 1970, D. Wyon avait montré que les performances de calcul et de lecture de plusieurs classes d'enfants ayant entre 9 et 12 ans étaient plus faibles avec une température comprise entre 27 et 30°C qu'à 20°C avec, en particulier, une diminution de la compréhension et de la vitesse de lecture ;
- Selon P. Wargocki, « la diminution de la température de l'air dans les salles de classe améliore les performances scolaires globales des écoliers [...], la vitesse d'exécution des tâches augmente [et] le pourcentage d'erreurs est réduit [...]. Les enfants rapportent une diminution des maux de tête suggérant que la réalisation de leur travail est plus facile. Trop de chaleur dans les salles de classe restreint l'efficacité de l'enseignement en raison d'un effort supplémentaire nécessaire pour lutter contre la fatigue induite par l'élévation de la température et la perturbation liée à l'inconfort ».

Les recherches de Pawel Wargocki et David Wyon ont également permis d'identifier les modalités d'action de l'environnement thermique sur les performances. **Six mécanismes entrent alors en jeu, affectant les performances cognitives** ¹² :



Mécanismes mis en action par l'environnement thermique affectant le travail mental

Les conditions thermiques ont une incidence directe sur les performances mentales des élèves, en affectant les capacités de réflexion et de concentration.

Et avec le réchauffement climatique, les vagues de chaleur deviennent de plus en plus fréquentes et intenses. Les bâtiments scolaires ne sont pas toujours adaptés au changement climatique rendant les salles de classe rapidement inconfortables lorsque les températures extérieures augmentent.

Le confort d'été dans les écoles est une problématique complexe pour les communes. Il nécessite un équilibre délicat entre la gestion des contraintes financières, le respect de la réglementation, la préservation du patrimoine, et les attentes des usagers.

Trouver des solutions adaptées, durables et économiquement viables représente un véritable défi pour les collectivités territoriales, particulièrement dans un contexte de changements climatiques et de tensions budgétaires croissantes. Il pourrait être tentant de se tourner vers des solutions temporaires qui ne seraient ni efficaces ni durables et qui pourraient même aggraver la situation.



L'importance de préserver et d'améliorer la qualité de l'environnement intérieur

Adapter les bâtiments existants pour améliorer le confort durant les périodes chaudes peut nécessiter des investissements importants. C'est la raison pour laquelle l'efficacité et la durabilité doivent être recherchées.

Lors de la rénovation thermique des écoles, et dans la volonté d'améliorer la situation existante, il est essentiel d'intégrer le confort été dans la démarche, mais sans négliger les autres aspects liés à la qualité de l'environnement intérieur.

La qualité de l'air, la lumière naturelle et l'acoustique influencent directement le bien-être, la santé, la productivité et la concentration des occupants. Négliger ou mal appréhender ces éléments en phase conception et travaux peut entraîner des conséquences négatives. Si ces situations passagères et provisoires peuvent être sans effets notoires, il n'en va pas de même lorsqu'elles perdurent.



D'autres recherches menées par l'Université d'Harvard et l'Université de Californie montrent que chaque augmentation d'un degré Fahrenheit (°F) de la température moyenne annuelle réduit la quantité d'apprentissages de 1% ¹³.

VELUX dans son « Baromètre des Bâtiments sains » déclare également qu'1°C de moins sur la température intérieure d'une classe en surchauffe améliorerait de 2,3% la performance des élèves ¹⁴.



QU'EST-CE QUE LE CONFORT ?

La notion de confort varie d'un individu à un autre en fonction des besoins, mais aussi des différents degrés de tolérance face aux inconforts. Il est aussi « personnalisable », puisque les réactions psychologiques et physiologiques face à des situations d'inconfort diffèrent d'une personne à l'autre.

Il est plus facile de définir une situation inconfortable, le confort serait alors un état dans lequel nous ne ressentons pas de désagrément ou ne subissons pas d'impacts négatifs. Le confort dans le bâtiment relève d'une perception sensorielle liée à des critères d'ambiance et d'environnement du bâtiment (luminosité, humidité, température, qualité de l'air, acoustique, etc.).





La qualité de l'air intérieur (QAI)

Les enfants passent environ 70% de leurs journées d'école en classe. Or bon nombre de bâtiments sont aujourd'hui inadaptés, l'air intérieur étant 5 à 10 fois plus pollué que l'air extérieur.

Cette exposition prolongée aux polluants est préoccupante car l'organisme des enfants, plus vulnérable que celui des adultes, y réagit fortement.

Bien que souvent jugé inoffensif, un excès de CO₂ altère les performances cognitives, provoquant fatigue et baisse de concentration.

Une ventilation insuffisante affecte ainsi directement la santé et la capacité d'apprentissage des élèves des écoles primaires, surtout pour des tâches complexes, comme l'a révélé une étude britannique¹⁶.

QU'EST-CE QUE LE CO₂ ?



Le dioxyde de carbone (CO₂) est une molécule produite par l'organisme humain lors de l'expiration. Sa concentration dans l'air intérieur des bâtiments dépend de l'occupation humaine et du renouvellement d'air.

La concentration en CO₂ dans l'air intérieur est l'un des critères qui fonde la réglementation en matière d'aération des locaux¹⁵. Elle peut être comprise entre 400 et 5000ppm environ. Le Haut Conseil pour la Santé Publique fixe un objectif de 800 ppm de CO₂ comme valeur repère d'un renouvellement de l'air satisfaisant dans des locaux occupés.



COV, NO₂, PM_{2,5}... POURQUOI C'EST IMPORTANT ?



D'après l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, les Composés Organiques Volatils (COV) sont détectés dans 80% des écoles¹⁷.

Les COV regroupent une multitude de substances organiques émises sous forme gazeuse (invisibles à l'œil nu) dans l'air à température ambiante. Leur volatilité et propagation ont une influence directe et indirecte sur l'environnement et la santé. Les principales sources d'émission sont : le mobilier, les revêtements, les produits d'entretien et les produits d'activités récréatives (colles, peintures, feutres, etc.).

Les COV ne sont pas les seuls à avoir un impact sur la santé : le NO₂ (dioxyde d'azote) et les PM_{2,5} (particules fines dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres) contribuent également à la dégradation de la qualité de l'air. Ces polluants souvent liés à la pollution extérieure peuvent pénétrer facilement dans les bâtiments scolaires et s'accumuler dans l'air intérieur. Dans certains cas, les niveaux de NO₂ mesurés à l'intérieur des classes peuvent même dépasser ceux de l'extérieur.

La ventilation inadéquate et le manque de filtration de l'air aggravent ce problème, soulignant l'importance cruciale d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les écoles pour protéger la santé et le bien-être des élèves. Les élèves exposés à des niveaux élevés de NO₂ et PM_{2,5} sont plus susceptibles de développer des symptômes respiratoires, notamment de l'asthme, des infections des voies respiratoires et des allergies.



Une étude menée auprès de 2670 élèves dans 53 écoles européennes a démontré qu'un bon ratio entre la taille des fenêtres et la surface du sol, ainsi qu'une orientation optimale, améliorent les performances scolaires¹⁸.



La lumière naturelle

La qualité de la lumière naturelle en classe est essentielle pour favoriser l'apprentissage, améliorer la concentration et réduire la fatigue visuelle.

Le type de protection solaire est déterminant pour assurer une qualité optimale de lumière naturelle, essentielle au bon apprentissage. Les protections solaires adaptées permettent de réguler l'apport lumineux sans l'occulter, offrant un équilibre entre luminosité naturelle et confort thermique. Ce compromis repose sur une combinaison judicieuse entre des vitrages à contrôle solaire et des protections solaires rapportées, ajustées à chaque bâtiment et à son usage.

Il est donc important de maîtriser les apports lumineux et l'accès à la lumière naturelle, car dimensionnement inadapté des ouvertures (en particulier sur les expositions sud-est, sud ou sud-ouest), entraîne une surchauffe des espaces pendant les mois d'été, créant un inconfort thermique préjudiciable à la concentration.



L'acoustique

Le confort acoustique est un enjeu majeur pour les enfants et les enseignants, sensibles au bruit. Une exposition prolongée affecte les fonctions physiologiques (maux de tête, stress, fatigue) avec des conséquences plus marquées chez l'enfant. Des niveaux sonores élevés perturbent leur concentration et leur apprentissage. Contrairement aux adultes, les enfants ne s'y habituent pas et deviennent de plus en plus inattentifs, sans souvent s'en plaindre ¹⁹.

Dans certains espaces comme les cantines ou les préaux, le bruit atteint des niveaux gênants le repos, la concentration ou la communication. De plus, les nuisances extérieures, liées au trafic ou aux travaux de voiries par exemple, compliquent l'ouverture des fenêtres, surtout l'été.

À l'intérieur, une exposition prolongée, même à des bruits modérés, a des effets néfastes. Par exemple, un système de ventilation mal réglé peut générer un fond sonore constant qui perturbe la concentration et provoque des désagréments, compromettant ainsi le bien-être des élèves.



Les effets de la chaleur sur le corps humain

Pour garantir un environnement sain dans les bâtiments scolaires, il est essentiel d'adopter une approche globale qui intègre à la fois les performances thermiques et les autres aspects du confort (QAI, accès à la lumière naturelle, acoustique, etc.).

L'amélioration de la rénovation énergétique en intégrant le confort d'été permet de créer des conditions d'apprentissage favorables, sans dégrader d'autres éléments importants au bien-être. Qu'il s'agisse du chauffage en hiver ou de la gestion de la surchauffe en été, il est crucial de considérer l'ensemble des interactions des solutions mises en place pour éviter toute contre-performance, par exemple :

- L'éclairage naturel doit être maîtrisé pour favoriser le confort visuel sans entraîner de surchauffe en été ;
- Une meilleure étanchéité à l'air, bien qu'efficace pour limiter les pertes thermiques, nécessite un système de ventilation performant pour préserver la qualité de l'air intérieur.

C'est en adoptant cette approche intégrée qu'il est possible, non seulement d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire les coûts d'exploitation des bâtiments scolaires, mais surtout d'assurer un environnement confortable et propice à l'apprentissage et au bien-être des élèves et du personnel.



04

Mieux intégrer le confort été dans l'existant : principes généraux et exemples de solutions complémentaires



Avertissement : Les principes généraux et exemples de solutions présentés dans cette section doivent être envisagés dans une démarche globale, combinant à la fois des interventions techniques et des ajustements comportementaux pour atteindre un confort estival optimal. Il est essentiel de rappeler que ces exemples ne constituent ni une liste exhaustive ni une recette universelle.

Leur mise en œuvre dépend étroitement du contexte spécifique de chaque bâtiment, de ses caractéristiques, et des contraintes environnantes. Le confort d'été d'un bâtiment ne repose pas sur un composant unique, mais sur une stratégie intégrée qui englobe le rôle de chaque élément.

Toiture, fenêtres, murs, ventilation, associés à la gestion et aux équipements ont une incidence significative, mais c'est la coordination de ces diverses solutions qui permet de créer un environnement favorisant le confort été.

Ce chapitre explore donc un éventail de principes et d'exemples de solutions, tout en soulignant l'importance d'une mise en œuvre concertée pour renforcer l'adaptation des bâtiments face au réchauffement climatique. Il est également essentiel de respecter les réglementations et de solliciter des professionnels qualifiés pour obtenir des conseils personnalisés et une mise en œuvre de qualité afin de garantir des résultats durables et adaptés. Les différentes solutions sont présentées à titre d'exemples dont la liste n'est pas exhaustive.



L'intégration du confort d'été dans un bâtiment repose avant tout sur la réduction de ses besoins énergétiques. Des gestes simples et accessibles, ne nécessitant pas de travaux lourds, peuvent dans un premier temps atténuer les effets des fortes chaleurs, particulièrement en situation d'urgence. Ces actions de bon sens doivent cependant s'inscrire dans une approche globale, permettant une combinaison progressive de solutions plus complexes, allant jusqu'à des travaux significatifs, afin d'optimiser leur efficacité.

Parallèlement, des systèmes énergétiquement sobres peuvent assurer un certain niveau de confort, tout en minimisant l'empreinte énergétique. Ces solutions, qu'elles soient architecturales, technologiques ou basées sur une gestion intelligente des phénomènes naturels, offrent une certaine maîtrise lors de l'élévation des températures printanières ou estivales.

Par ailleurs, lors de la mise en place de systèmes de chauffage économes (tels que des pompes à chaleur air/air), il est essentiel d'opter pour des dispositifs réversibles performants, capables d'assurer un refroidissement efficace en été. Leur utilisation doit s'inscrire dans une stratégie globale afin de limiter leur recours lors d'épisodes de canicule, garantissant ainsi un fonctionnement en conditions optimisées.

Principes généraux et éléments essentiels à prendre en compte :

- **Végétaliser les environnements bâtis** : qu'il s'agisse des parois opaques ou des espaces extérieurs, tels que les cours d'école, végétaliser constitue une solution efficace pour améliorer le confort thermique en été à l'échelle du quartier. Les cours Oasis au sein des écoles (parisiennes) créent des îlots de fraîcheur en milieu urbain, améliorant à la fois le confort des occupants et la qualité environnementale globale, tout en participant à la lutte contre les îlots de chaleur en ville ;
- **Limiter les apports de chaleur par les parois opaques en été** : il est essentiel de minimiser l'élévation de température des murs et des toitures sous l'effet du rayonnement solaire. Cela permet d'éviter la surchauffe des matériaux, particulièrement en périodes de forte chaleur ;
- **Optimiser la gestion thermique des toitures** : les toitures, exposées directement au rayonnement solaire, peuvent atteindre des températures très élevées en été, parfois supérieures à 50° C. Cela entraîne un transfert de chaleur vers l'intérieur du bâtiment, surtout en l'absence de solutions de protection adéquates. Dans les bâtiments sans combles, ou lorsque ceux-ci sont aménagés, cette gestion devient encore plus essentielle pour assurer un confort thermique optimal dans les étages supérieurs ;
- **Préserver l'inertie thermique du bâtiment** : l'inertie thermique désigne la capacité d'une paroi à stocker de l'énergie sous forme de chaleur. Les matériaux à forte inertie en contact avec l'ambiance amortissent les variations de température. Ils stockent la chaleur en hiver pour la restituer dans le temps, et inversement ralentissent la diffusion de la chaleur en été. Il est crucial de ne pas compromettre cette inertie par des traitements inadaptés qui pourraient favoriser la surchauffe en période estivale ;
- **Réduire les apports solaires sur les parois vitrées** : les vitrages jouent un rôle ambivalent dans l'enveloppe thermique du bâtiment. En hiver, ils permettent de maximiser les apports solaires, tout en étant une source de déperdition. En été, l'objectif est inverse puisque l'on cherche à les limiter en réduisant le rayonnement traversant les vitres. Il faut donc concilier protection contre les surchauffes tout en favorisant un accès à la lumière naturelle suffisant pour minimiser le recours à l'éclairage artificiel quelle que soit la saison ;
- **Favoriser le rafraîchissement naturel** : lorsque c'est possible, privilégier des solutions de rafraîchissement naturel dans l'environnement du bâtiment, comme l'utilisation de matériaux adaptés pour les terrasses, la végétalisation, l'installation de brise-soleil, ou encore la création de zones ombragées ;



- **Exploiter les baisses de températures nocturnes** : la ventilation naturelle nocturne est une méthode efficace pour aider le bâtiment à décharger la chaleur interne accumulée durant la journée. Cela passe par une bonne gestion des ouvertures (fenêtres et baies vitrées) qui peut être automatisée pour en optimiser les bénéfices ou complétée par de la surventilation mécanique, permettant un renouvellement d'air plus important pendant la nuit ;
- **Prendre en compte les apports internes** : les équipements, l'éclairage et même les occupants dégagent de la chaleur, contribuant à l'élévation de la température intérieure. Une bonne gestion de ces sources internes est nécessaire pour éviter d'aggraver les effets des températures extérieures ;
- **Promouvoir des comportements adaptés** : au-delà des solutions techniques, le facteur humain est déterminant. L'accompagnement des occupants, qu'il s'agisse des utilisateurs ou des équipes de maintenance, et leur formation aux bonnes pratiques de gestion thermique, sont essentiels. Sans cette sensibilisation, les améliorations mises en place risquent de ne pas atteindre leur plein potentiel.

Rappel important :

Il n'existe pas de solution « miracle ». Il convient d'adopter une approche systémique, c'est-à-dire de combiner plusieurs solutions techniques et technologiques pour une meilleure efficacité. Car la plupart de ces techniques ne pourront contrer les effets de l'augmentation des températures si elles sont utilisées seules, ou si on agit que sur un seul composant.



C'est une combinaison intelligente d'actions, par l'apport de solutions sur ces composants de la construction, et l'évolution des comportements qui permettront de tendre vers le confort recherché, tout en participant à une plus grande résilience du bâtiment face aux problématiques sur le confort d'été dans un contexte de réchauffement climatique.

En rénovation, des solutions techniques et technologiques performantes existent d'ores et déjà. Associés aux principes généraux, quelques exemples sont présentés dans cette partie de manière à donner un large panel des possibilités en la matière. Les bénéfices et points d'attention de ces solutions sont également mis en avant pour une meilleure utilisation et mise en œuvre.

Précision importante : le panorama de solutions ou de couplage de solutions qui est présenté dans ce guide ne donne, bien sûr, en aucun cas une vision exhaustive de toutes les expériences, techniques et technologies.

Un aperçu des solutions

- Végétaliser le bâtiment et son environnement
 - Végétaliser en toiture
 - Végétaliser l'environnement de l'école
- Réduire les apports de chaleur par les parois opaques
 - Limiter l'impact des flux de chaleur : associer inertie et isolation
 - Choisir des revêtements clairs pour limiter l'effet du rayonnement direct
- Maîtriser les apports solaires par les parois vitrées
 - Se protéger d'un excès de rayonnement solaire
- Ventiler et évacuer la chaleur
- Utiliser des systèmes de refroidissement actif lors d'épisodes de canicule
- Contrôler et gérer les installations techniques du bâtiment
- Adapter les bons comportements pour garantir l'efficacité des solutions



Végétaliser le bâtiment et son environnement

La végétalisation des bâtiments publics est de plus en plus plébiscitée par les collectivités, et les bâtiments scolaires ne font pas exception. Végétaliser permet de répondre à plusieurs objectifs : c'est à la fois une réponse aux effets de la chaleur ressentie à l'intérieur et aux alentours des bâtiments, tout en apportant de nouvelles perspectives en matière de gestion des eaux pluviales et de biodiversité.

Cette solution est alors tout à fait appropriée pour des écoles situées en ville, dans des espaces très minéralisés, puisqu'elle contribuera à créer un environnement rafraîchissant pour atténuer les effets des îlots de chaleur.

– Végétalisation de la toiture

Applicables sur petite ou grande toiture, des systèmes de végétalisation extensifs (espaces extensifs), ou semi-intensifs et intensifs (jardins légers), existent et sont adaptables selon les climats et les types de bâtiments, y compris en rénovation. Combinés avec une isolation thermique, ils permettant une stabilisation des températures des parois (variations moins fortes) grâce à la couche de substrats, et bloquent les rayons UV.

La végétalisation peut améliorer l'inertie thermique des bâtiments avec des parois légères et être un élément à envisager pour atténuer les effets du réchauffement au niveau du bâtiment et de son environnement.

En toiture-terrace béton, de pente comprise entre 0 et 5% (toitures plates), la végétalisation viendra en remplacement de la protection lourde gravillonnée, sous réserve que la charge admissible en toiture soit suffisante.

La mise en place d'une végétalisation succèdera à la réfection du complexe isolation-étanchéité pour apporter un gain d'isolation thermique ainsi qu'une fonction anti-racine à l'étanchéité.

A noter que l'installation de solutions de végétalisation plus légères est possible pour des toitures ayant des contraintes de charge.



Points d'attention :

- La toiture doit être adaptée pour recevoir un complexe isolation-étanchéité anti-racine. La charpente doit également être redimensionnée pour accepter les charges liées à la végétalisation. Il est possible de réaliser des toitures végétalisées sur fortes pentes à partir de 35% et jusqu'à 100% avec des systèmes anti-érosion adaptés. Les rouleaux recultivés sont la solution la plus adaptée à cette typologie de toiture ;
- La mise en œuvre peut dépendre de l'homogénéité dans un quartier (règlement d'urbanisme, marges de manœuvre variables, etc.) ;
- Un système d'irrigation peut être nécessaire selon la région climatique du bâtiment (faibles précipitations) ;
- La végétalisation demande un entretien régulier.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Lycée Mounier à Grenoble (38)

Toiture-terrace végétalisée : réfection en 2023 de 2000 m² de toitures-terrasses gravillonnées (Soprema / Sopranature).

© Site internet Le Dauphiné



Lycée du Grésivaudan à Meylan (38)

Réfection en 2023 et 2024 de 4000 m² de toitures-terrasses végétalisées (Soprema / Sopranature).

© Site internet apexenergies



© Soprema / Sopranature

– Végétalisation de l'environnement autour de l'école

Végétalisation, désimperméabilisation, cours d'école résilientes... Tous ces termes évoquent la même chose : l'aménagement des cours d'école intégrant des espaces plus naturels, davantage de végétation, ou encore, une meilleure gestion de l'eau de pluie.

Dans ce contexte d'augmentation des vagues de chaleur, favoriser l'effet d'ombrage dans la cour et une meilleure infiltration des eaux pluviales favorisera les îlots de fraîcheur.

Car si les premières interventions sont principalement centrées sur le bâti scolaire, il est préférable, notamment en milieu urbain, que les collectivités intègrent également l'école dans son environnement en incluant les cours d'école et ses abords dans les travaux de rénovation.

EXEMPLE DE SOLUTION

Les projets « cours Oasis » ont l'objectif de rénover et de repenser les cours d'école en proposant des espaces plus naturels avec davantage de végétation, une meilleure gestion de l'eau, des aménagements plus ludiques, des coins calmes et une meilleure répartition de l'espace.

De nombreux enjeux positifs en découlent : bien-être, santé et développement des enfants, adaptation au changement climatique, sensibilisation à l'environnement, etc.



© jerome_coumet / Banque des territoires

Réduire les apports de chaleur par les parois opaques

– Limiter l'impact des flux de chaleur : associer inertie et isolation

La structure du bâtiment joue un rôle essentiel dans son aptitude à ralentir l'élévation de la température de l'air intérieur, et par sa capacité à absorber l'énergie thermique incidente : on parle alors « d'inertie thermique ».

Une attention particulière doit alors être portée à la structure du bâtiment, et donc aux matériaux qui la composent, pour en conserver ses propriétés en termes d'inertie thermique. Lorsqu'il n'y a pas de contraintes architecturales, l'Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) permet de conserver les propriétés inertielles de la structure.



L'inertie thermique d'un bâtiment se définit par la capacité des matériaux qui le composent à emmagasiner la chaleur puis à la restituer en déphasage (faculté à différer les variations de température). C'est l'inertie du bâtiment qui permet de contenir l'élévation de la température de l'air d'une pièce ou d'un local pendant un temps donné.

Des parois bien isolées, quelle que soit la nature de l'isolant, contribuent à améliorer le confort d'été du bâtiment en limitant les flux externes de chaleur.

L'isolant permet en effet de limiter le passage des flux de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur. Cet effet « amortisseur » atténue alors les fluctuations et l'amplitude de la température intérieure.

L'isolation est souvent prescrite sur trois postes dans les projets de rénovation énergétique : la toiture, les murs et les planchers.

Lorsque l'ITE sur des parois lourdes est prévue, l'inertie de l'enveloppe est préservée. Dans le cas où il serait nécessaire de mettre en oeuvre une Isolation Thermique par l'Intérieur (ITI), l'inertie peut être préservée ou améliorée en utilisant ou créant des parois lourdes intérieures au bâtiment (certains planchers, murs de refends, cloisonnement, etc.).



Privilégier les « parois lourdes » côté intérieur, pour « absorber » la chaleur dont il faudra prévoir le « déstockage » ultérieur (ventilation nocturne, surventilation, etc.)

- **L'isolation des murs, planchers, plafonds**

L'isolation est souvent pensée pour améliorer la performance énergétique en hiver avec l'objectif principal de réduire les déperditions de chaleur et d'optimiser le confort thermique.

Dans le cadre des projets de rénovation énergétique des écoles, l'isolation doit être systématiquement envisagée. Elle joue également un rôle crucial pour assurer un confort optimal en été. En effet, une isolation performante ralentit la transmission de chaleur provenant de l'extérieur, notamment à travers les parois exposées telles que les toitures et les murs.

Pour maximiser le confort estival, il est crucial de privilégier une isolation efficace, si possible en optant pour une isolation thermique par l'extérieur lorsque la configuration du bâtiment le permet. L'isolation, quelle soit intérieure ou extérieure, limite les transferts de chaleur en renforçant les performances thermiques des parois existantes.

Il convient aussi de rappeler qu'un matériau isolant, quelle que soit sa nature, a pour seule fonction de diminuer significativement le transfert de chaleur (hiver/été). En réduisant l'intensité du flux énergétique qui traverse une paroi isolée, il permet d'améliorer significativement le bilan thermique. Toutefois, n'ayant pas de capacité de stockage de l'énergie, un matériau isolant n'a pas d'effet sur l'inertie thermique et ne peut remplacer un matériau lourd (ou plus lourd).

Avant de présenter quelques exemples de solutions techniques combinant différents effets, il convient de souligner que les systèmes d'isolation offrent déjà d'excellentes performances pour améliorer le confort en été.

EXEMPLE DE SOLUTION COMBINANT PLUSIEURS EFFETS

Les **systèmes d'isolation répartie** combinent isolation extérieure et intérieure, tout en assurant l'étanchéité à l'eau et à l'air. Cette approche intégrée offre un confort optimal aux occupants, été comme hiver, tout en minimisant l'épaisseur des murs. Ces systèmes, souvent validés par des avis techniques, permettent de réaliser des façades performantes et économiques. Ils sont applicables facilement en rénovation et présentent l'avantage d'une mise en œuvre rapide dans le cas de restructuration de certaines typologies de bâtiment, de types poteau-poutre, poteau-dalle, structures métalliques ou bois pouvant correspondre à des écoles construites à certaines périodes.

Groupe scolaire « de l'Almont » à Melun (77)

Réhabilitation thermique globale, système d'isolation et brise-soleil intégrés.



EXEMPLES DE SOLUTION : ASSOCIER ISOLATION THERMIQUE ET PERFORMANCE ACOUSTIQUE

Ecole maternelle « Les Boutours » à Rosny-Sous-Bois (93)

Isolation des murs et plafonds, performance acoustique.

© Knauf



Centre communautaire à Koolskamp / Ardoois (Belgique)

Pose de panneaux de toiture tout-en-un : isolation par l'extérieur de la toiture et correction acoustique par sous-face de plafond perforée.

© Unilin Insulation



– Choisir des revêtements clairs pour limiter l'effet du rayonnement direct

Les toitures et les terrasses sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. La nature des matériaux qui les composent peut avoir un effet sur l'impact du rayonnement, tout comme l'effet de leur couleur : plus un matériau tend vers une couleur claire (jusqu'à blanche), plus il réfléchit le rayonnement solaire direct, et moins il stocke d'énergie sous forme de chaleur.



Dans le cas des toitures plates, des membranes réfléchissantes sont des revêtements appliqués directement sur la toiture existante. Ces membranes sont conçues pour réfléchir la lumière solaire tout en étant résistantes aux intempéries. La technologie Cool Roof permet de limiter l'échauffement de la toiture, mais elle ne peut à elle seule compenser les pertes énergétiques liées à une mauvaise isolation.

Une isolation thermique performante est donc essentielle pour maximiser l'efficacité énergétique du bâtiment, aussi bien en hiver qu'en été.

A noter que pour conserver les performances de la paroi en matière de réflexion du rayonnement solaire, un entretien régulier est requis.

• Murs extérieurs de couleur claire

La teinte d'un enduit de façade influe légèrement sur le confort thermique d'été, via son coefficient alpha. Le coefficient alpha mesure la capacité à absorber le rayonnement solaire, il varie de 0 (couleurs claires) à 1 (couleurs foncées). Un enduit avec un alpha de 0,2 réfléchit plus de chaleur, limitant les surchauffes, tandis qu'un alpha de 0,7 absorbe davantage de chaleur, ce qui peut entraîner surchauffe et dégradations (dilatation, fissuration).

Bien que l'influence de la teinte de l'enduit soit limitée dans des bâtiments bien isolés, **privilégier des couleurs claires contribuera à améliorer le confort d'été.**



• Système d'étanchéité, technologie « cool roof » ou « toiture fraîche »

La technologie « cool roof » est destinée à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en agissant sur leurs toitures. En période de réchauffement climatique et de hausse des températures, cette technologie repose sur deux propriétés fondamentales des matériaux utilisés pour les toitures :

- La réflectance solaire : c'est la capacité d'un matériau à réfléchir la lumière du soleil. Les matériaux utilisés dans ces technologies ont un haut pouvoir de réflectance, ce qui permet de réfléchir une grande partie de l'énergie solaire au lieu de l'absorber ;
- L'émissivité thermique : il s'agit de la capacité d'une surface à rayonner la chaleur qu'elle accumule. Un matériau avec une émissivité élevée peut facilement dissiper la chaleur emmagasinée, ce qui empêche son transfert à l'intérieur du bâtiment.

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Crèche « Karabouille » à Dissay (86)

Rénovation de l'étanchéité



© Soprema Entreprises

Maitriser les apports solaires par les parois vitrées

- Se protéger d'un excès de rayonnement solaire

Les apports solaires, bénéfiques en hiver comme source de chaleur, peuvent devenir une cause majeure d'inconfort en été, notamment si les baies vitrées n'ont pas été correctement dimensionnées, orientées ou équipées.

Pour concilier confort visuel et thermique, essentiels au bon apprentissage, il est crucial de limiter les excès de chaleur pour favoriser une température acceptable en été tout en préservant l'accès la lumière naturelle.

Il est important de souligner que les baies vitrées non protégées thermiquement représentent un véritable problème : sans protection, 1m² de fenêtre en double vitrage peut laisser passer autant d'énergie que 30 m² de paroi verticale opaque isolée. C'est pourquoi il est important de limiter les apports de chaleur par les parois vitrées en maîtrisant les effets des rayonnements solaires depuis l'extérieur, tout en préservant une diffusion optimale de la lumière naturelle.

• Les protections solaires mobiles ou fixes

Les protections solaires mobiles ou fixes (comme les stores ZIP extérieurs, brises-soleil orientables, volets battants / roulants / coulissants, stores intérieurs), permettent de limiter le rayonnement solaire qui pénètre par les fenêtres à l'intérieur du bâtiment, réduisant ainsi la montée en température à l'intérieur des salles de classe et les risques de surchauffe. Elles jouent le rôle de « bouclier thermique ».

Placées en extérieur, l'efficacité des **protections solaires mobiles** sera optimale car elles limitent la montée en température des fenêtres, et donc de la pièce.

Ces solutions peuvent être motorisées pour faciliter leur utilisation (gestion centralisée pour chaque salle de classe par le personnel enseignant) et réduire les coûts d'entretien (évitent les manipulations et limite donc le risque de détérioration).

Elles peuvent également être automatisées pour garantir un fonctionnement optimal selon les conditions météorologiques (ensoleillement), et la température intérieure en présence ou en absence des occupants (mercredi après-midi, week-ends, vacances).

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Ville de Poissy (78)

Dans le cadre de son plan canicule, la ville de Poissy a adapté 13 bâtiments scolaires aux vagues de chaleur en les équipant de 616 stores extérieurs motorisés.



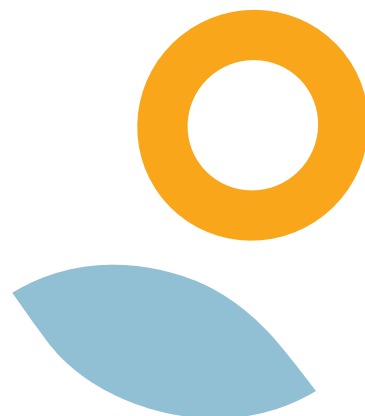
© Somfy / Mermet / Schenker Stores



Points d'attention :

- Accompagner l'utilisateur et le former / sensibiliser aux bonnes pratiques sera un facteur clé de réussite et d'acceptation (anticiper la fermeture des protections solaires si non automatisées par exemple) ;
- Les systèmes doivent maintenir un éclairage naturel suffisant pour limiter l'utilisation de l'éclairage artificiel ;
- Lorsqu'un système de pilotage assure la gestion des protections solaires, s'assurer de l'interopérabilité des solutions ;
- L'installation par un professionnel est recommandée.

A noter que, lorsque l'architecture ou les règles d'urbanisme ne le permettent pas (contraintes patrimoniales, impossibilité de modifier la façade, zone ABF - Architecte des Bâtiments de France), des protections solaires intérieures moins efficaces que les extérieures pourront être utilisées et pourront dans ce cas être combinées à des vitrages à contrôle solaire pour augmenter l'efficacité totale de la solution.



Les **protections solaires fixes** ou orientables, comme les brises-soleil, sont des dispositifs installés à l'extérieur des bâtiments, généralement au niveau des ouvertures (fenêtres, baies vitrées) ou en saillie au-dessus des façades.

Par l'ombre portée sur les vitrages, elles réduisent les apports solaires en été. Leur conception nécessite une étude précise, prenant en compte les risques de surchauffe et d'éblouissement selon la position du soleil et les saisons.



Ecole « Le Barry » à Le Muret (31)

Installation de brise-soleil horizontaux fixes (dits « en casquette »). Particulièrement adaptés pour les façades au sud.

© Tellier Brise-Soleil

Cité Scolaire « Camille Vernet » à Valence (26)

Installation de brise-soleil verticaux (lames debout ou couchées), adaptés pour protéger les façades exposées à l'est et à l'ouest.



© Tellier Brise-Soleil



Ecole « Dominique Savio » à Biol (38)

Installation de brise-soleil mobiles adaptés pour protéger les façades exposées à l'est et à l'ouest, jusqu'à nord-est et nord-ouest.

Etude d'ensoleillement menée permettant de définir un scénario optimal pour le pilotage des lames orientables.

© Tellier Brise-Soleil

Des brises-soleil photovoltaïques peuvent également être installés, protégeant ainsi des rayonnements solaires tout en assurant une production d'électricité.



© Edilians

• Les ombrages

Des systèmes **voiles-dômes, applicables sur les toitures**, réduisent l'impact du soleil l'été (par projection d'ombre, évitent la surchauffe en laissant circuler l'air entre la protection solaire et le lanterneau / voûte). Ces systèmes laissent bien entendu entrer le soleil en hiver grâce à une inclinaison optimisée et à la tôle perforée.

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Lycée Professionnel « du Nivolet » à La Ravoire (73)

Pose de 70 lanterneaux avec brise-soleil voiles-dômes.



© Adexsi / Le Moniteur

• Les vitrages à contrôle solaire

Les vitrages à contrôle solaire (parfois les films sur vitrage performant existant), jouent un rôle clé pour atténuer les effets du rayonnement solaire sur les parois vitrées exposées, qu'il s'agisse de façades verticales ou de toitures inclinées. En réfléchissant le rayonnement solaire vers l'extérieur, ils complètent les protections solaires existantes. Toutefois, ces vitrages ne se substituent pas systématiquement aux protections rapportées (fixes ou mobiles), mais permettent de prolonger l'entrée de lumière naturelle en retardant la fermeture des protections. De plus, ils peuvent contribuer à limiter la surchauffe en cas d'utilisation inadéquate de ces dernières dans le cas où elles ne seraient pas automatisées.

Le verre de protection solaire, ou vitrage de contrôle solaire, est un élément clé pour favoriser la lumière naturelle tout en minimisant les effets indésirables de la chaleur excessive.

Ce type de vitrage permet non seulement d'obtenir un confort lumineux optimal et contribue à réduire l'inconfort de température lié aux apports énergétiques. En outre, grâce à son esthétique neutre, il peut être intégré harmonieusement dans des bâtiments existants sans en changer leur rendu.

Ces vitrages sont utilisables sur tout type de fenêtres (parois verticales, fenêtres de toit, verrières) et peuvent être intégrés lors du remplacement des menuiseries existantes.



EXEMPLES DE SOLUTIONS

Lycée « Les Buissonnets » à Avrillé (49)

Vitrage à contrôle solaire installé en façade hall (mur rideau) et salles de cours.



© Ouest France / Saint-Gobain Glass Bâtiment



Collège « Tomi Ungerer » à Dettwiller (67)

Rénovation de la verrière associée à un double vitrage à contrôle solaire.

© Imagizz Communication / VELUX

• Les films à contrôle solaire

Les films à contrôle solaire peuvent être des solutions efficaces pour améliorer le confort thermique, l'efficacité énergétique et l'esthétique des bâtiments. **Appliqués sur des vitrages existants, ils renforcent leur capacité à rejeter l'énergie solaire tout en préservant la transmission de la lumière naturelle.** Sur des menuiseries non performantes, l'application d'un film ne suffira pas à contrer la surchauffe estivale en raison de déperditions trop importantes.

Cela permet de créer des espaces intérieurs lumineux et agréables, tout en assurant un environnement confortable et tempéré. Avec une durabilité garantie sur plusieurs années, ces films offrent une alternative à la rénovation des menuiseries existantes. Il est important de bien veiller à la qualité des films solaires utilisés, à leur garantie et à leur bonne mise en œuvre. Ces films sont recommandés lorsqu'un projet conserve les menuiseries performantes existantes pour lesquelles le contrôle solaire n'a pas été intégré.

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Campus « Michel Serres » à Agen (47)

Installation de film à contrôle solaire



© Solar Gard (Saint-Gobain)

Ventiler et évacuer la chaleur

En période estivale, et compte-tenu des apports internes, il est inévitable que la chaleur s'accumule dans les salles de classe, indépendamment des actions préventives mises en place. Tout l'enjeu consiste alors à pouvoir l'évacuer.

Plusieurs solutions existent pour cela et pour favoriser le renouvellement d'air intérieur (ventilation naturelle par tirage thermique ou effet traversant, surventilation mécanique) qu'il peut être intéressant de coupler.

Ces systèmes ne consomment pas ou peu d'énergie (pour faire fonctionner des moteurs d'ouverture des fenêtres, des ventilateurs ou circulateurs) comparé aux systèmes de refroidissement thermodynamiques (pompes à chaleur) mais ne permettent pas de garantir et de maintenir une température de consigne.

Toutefois, pour la plupart des solutions techniques et technologiques, et quel que soit leur degré d'innovation, le choix de leur mise en œuvre est intimement lié à la place de l'école dans son milieu et à la question de l'organisation de l'espace, en particulier en milieu urbain. La réflexion doit aussi intégrer une approche multiscale et donc prendre en compte l'environnement du bâtiment, notamment les cours de l'école.

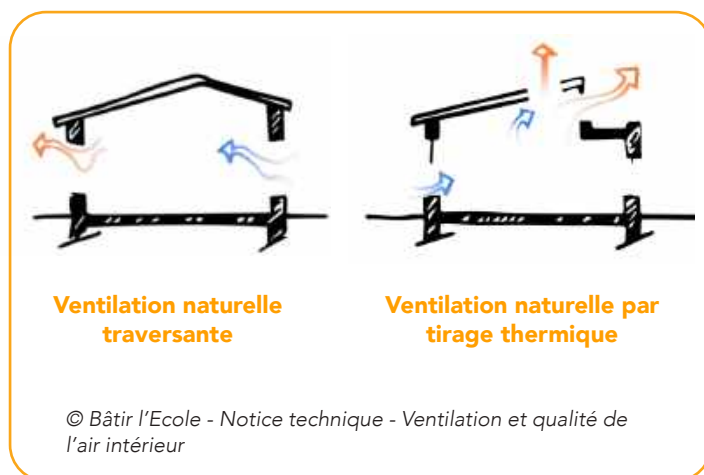
• La ventilation naturelle et tirage thermique

La ventilation naturelle est un processus de renouvellement de l'air intérieur d'un bâtiment qui s'effectue sans l'aide de dispositifs mécaniques. Elle s'appuie sur les forces naturelles du vent et les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur pour créer un mouvement d'air.

C'est le cas du **tirage thermique**, qui caractérise un mouvement vertical de l'air dans un bâtiment, causé par la différence de densité entre l'air chaud (moins dense) et l'air froid (plus dense). L'air chaud, plus léger, a tendance à s'élever, créant un flux ascendant dans le bâtiment.

Il permet, lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure, de maximiser l'efficacité de la ventilation naturelle en ouvrant les fenêtres en façade et les fenêtres de toit.

Il est aussi possible de rafraîchir efficacement en ouvrant les fenêtres sur deux façades opposées : c'est l'effet traversant, particulièrement intéressant lorsque l'une des deux façades est exposée au vent.



L'ouverture nocturne nécessite d'avoir une ouverture sécurisée des fenêtres pour éviter les intrusions, les fenêtres de toit motorisées le permettant notamment.

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Lycée « Lucie Aubrac » à Courbevoie (92)

L'atrium dispose de battants en toiture et de ventelles en façade, permettant de ventiler pendant la nuit l'été.



© EPICURIA Architectes via Bâtir l'Ecole - Notice technique - Ventilation et qualité de l'air intérieur.

- **L'automatisation des ouvertures des fenêtres**

Pour optimiser l'évacuation de la chaleur, il est conseillé de motoriser et d'automatiser l'ouverture et la fermeture des fenêtres en fonction de la température de la pièce. On peut noter que l'ouverture contrôlée des baies, est aussi très efficace, en complément de la ventilation mécanique pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur, notamment en évacuant rapidement le CO₂ et les COV après un pic de pollution (coloriage ou peinture en groupe par exemple). En particulier lorsque celle-ci est automatisée en fonction de l'humidité relevée et/ou du taux de CO₂.

L'automatisation des ouvertures nécessite des boîtiers de mesure de CO₂ et de la température et/ou une programmation de l'ouverture et fermeture des fenêtres via une application.

- **La ventilation mécanique**

Pour assurer la qualité de l'air intérieur en visant les recommandations du décret de surveillance QAI (800 ppm de CO₂), il faut prévoir un renouvellement de 25 à 30 m³/h par élève soit 750 à 900 m³/h pour une salle de classe.

Pour respecter ces niveaux il peut être pertinent de recourir à une ventilation double flux avec récupération d'énergie pour ne pas générer d'inconfort thermique et acoustique, et ne pas pénaliser la consommation énergétique.

Une **ventilation simple flux** nécessiterait des entrées d'air et grilles de transfert difficilement compatibles avec un confort acoustique et thermique.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Ecole des Gobelins à Paris (75) - Bâtiment classé

Installation d'une CTA, disposée sous un escalier, dans une zone de passage, et de 3 groupes extérieurs de PAC Air/Air, sur le toit (Groupe Atlantic).

Volonté de récupérer l'énergie sur la ventilation. Les réseaux aérauliques ont été intégrés en faux plafond.



© Google Maps

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Ecole primaire « Marie Curie » à Saint-Germain-en-Laye (78)

Mise en place d'une ouverture motorisée des fenêtres de toit (facilitant l'aération ponctuelle et maîtrisée pour le maintien d'un air de qualité tout au long de la journée). Intérêt de la complémentarité entre ventilation mécanique et ventilation naturelle.



© LUSSO et LAURENT Architectures / Antoine Mercusot / VELUX

La **ventilation double-flux centralisée** nécessite de la place pour les réseaux aérauliques (gaines de 315mm de diamètre, soit un dégagement de 50cm) mais permet d'obtenir un confort optimal. Les centrales doubles-flux proposées par les constructeurs permettent de répondre à toutes les configurations (intérieure, extérieure).

La **ventilation double flux décentralisée** constitue une alternative intéressante. Elle permet une installation simplifiée, classe par classe, sans nécessiter de réseau aéraulique complexe, en se raccordant simplement à une façade extérieure. L'installation est rapide, car l'équipement s'intègre facilement au plafond. Cependant, il est essentiel de prêter attention au confort acoustique avec ce type de dispositif.



Ecole primaire à Trèves (69)

Installation de centrales de traitement pour une gestion / régulation de l'air et des températures pièce par pièce.

© France Air

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR, BIEN COMPRENDRE

Lors des périodes de chaleur, la qualité de l'air intérieur se dégrade en raison d'un manque de renouvellement, ce qui augmente la concentration CO₂ et l'humidité. Comme déjà évoqué, le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) recommande que les établissements recevant du public visent une concentration de 800 ppm de CO₂ pour assurer un renouvellement d'air adéquat.

En France, l'indice « ICONE » (Indice de CONfinement d'air dans les Ecoles développé par le CSTB) est un indice pour évaluer le confinement de l'air d'une pièce et la corrélation avec le taux de CO₂ présent en lui attribuant un score de 0 à 5.

Il permet ainsi d'évaluer la qualité et l'efficacité des systèmes d'aération et de renouvellement de l'air dans un espace clos et occupé.

Un indice de confinement de 5 correspond à des pics de concentration en CO₂ supérieurs à 4 000 ppm et à des valeurs moyennes pendant l'occupation supérieures à 2 000 ppm.

Pour une concentration de 1 500 ppm (niveau moyen de l'indice), il est nécessaire, au regard des éléments de la littérature scientifique, de mettre en œuvre des actions correctives (diminution de la jauge d'occupation ou évacuation du local, modification des moyens techniques d'aération et de ventilation).

Une étude menée par le HCSP, entre 2013 et 2017, montre que sur un parc de 65 000 écoles en France continentale, 51% des écoles maternelles et 84% des écoles élémentaires ont eu un indice ICONE entre « élevé » et « extrême ».



• La ventilation naturelle nocturne

La température de l'air nocturne étant plus basse que celle de l'air diurne, des techniques de ventilation naturelle (comme vues précédemment) sont plus efficaces la nuit.

Pendant la journée, les bâtiments accumulent la chaleur due au soleil, aux appareils électriques, à l'air chaud extérieur ou à l'activité humaine. La ventilation naturelle nocturne permet de l'évacuer avant le prochain réchauffement diurne.

Elle consiste à ouvrir de façon contrôlée les fenêtres, grilles de ventilation, etc., pour faire sortir l'air chaud et faire entrer l'air frais. Ce processus peut être passif (par ventilation naturelle) ou assisté par des ventilateurs ou des systèmes de ventilation (VMC). On parle alors de surventilation nocturne mécanique. Un débit d'air de 3 à 5 fois le volume d'air du bâtiment par heure est recommandé pour un abaissement efficace de la température. Ce débit est ajusté selon les caractéristiques du bâtiment comme son inertie thermique.

L'efficacité de la surventilation nocturne peut être optimisée par des systèmes automatisés qui ouvrent ou ferment les ouvertures selon les conditions climatiques extérieures et intérieures, évitant ainsi l'entrée d'air trop chaud ou humide.

La mise en œuvre de cette technique nécessite une bonne compréhension des flux d'air et des interactions thermiques pour en maximiser les avantages tout en évitant une surconsommation énergétique.

EXEMPLE DE SOLUTIONS



PRINCIPE

La ventilation naturelle nocturne permet de rafraîchir les salles de classe en faisant circuler l'air frais extérieur pendant la nuit. L'air circule naturellement de l'extérieur à travers les pièces via les couloirs et les façades opposées ce qui permet d'évacuer la chaleur accumulée dans le bâtiment au cours de la journée. Si la température idéale n'est pas atteinte, un ventilateur d'extraction active une surventilation mécanique en augmentant les débits d'air entrant et sortant. Ce processus est régulé par une sonde de température installée dans la zone la plus sujette à la chaleur.

EXEMPLE DE SOLUTIONS



Lycée « Maryse Bastié » à Limoges (87)

Grille de ventilation en partie basse des circulations

© Atelier 4 Architectes Associés via Bâtir l'Ecole - Notice technique - Ventilation et qualité de l'air intérieur.

• Les brasseurs d'air

Les brasseurs d'air sont des dispositifs mécaniques conçus pour améliorer la circulation de l'air. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants.

Le fonctionnement des brasseurs d'air repose sur la mise en mouvement de grandes quantités d'air à faible vitesse. En agissant sur les couches d'air à proximité des personnes, ces dispositifs augmentent l'évaporation à la surface de la peau, améliorant le ressenti et créant une « sensation de fraîcheur » sans modifier la température ambiante réelle.

En combinaison avec des systèmes de ventilation naturelle ou une surventilation nocturne, ils peuvent optimiser les flux d'air, maximisant ainsi les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Ils contribuent à une meilleure homogénéisation des températures (éviter la stratification des températures), en particulier dans des salles avec de grandes hauteurs sous plafond.

Comparés aux systèmes de refroidissement (de type PAC Air/Air), ils n'entraînent pas de réduction directe de la température. En période de chaleur modérée, les brasseurs d'air peuvent suffire à maintenir un environnement agréable, tandis qu'en période de canicule, ils peuvent être utilisés en complément de la climatisation.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Collège « Gisèle Halimi » à Lyon (69)

Installation de brasseurs d'air sans pales apparentes.

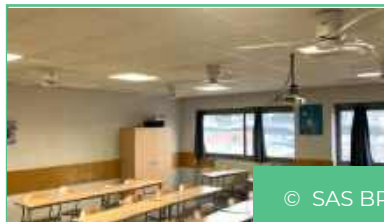
© SAS BRASSEURS D'AIR



Collège « Jean Zay » à Rousset (13)

Installation de brasseurs d'air à pales dans les salles de classe.

© SAS BRASSEURS D'AIR



• Le puits climatique

Le puits climatique permet un rafraîchissement de l'air entrant dans le bâtiment grâce aux échanges avec le sol. Un gain très important sur le confort est démontré.

Il apporte une diminution significative des besoins de chauffage et de rafraîchissement d'un bâtiment en s'appuyant sur une énergie renouvelable, gratuite et illimitée : la géothermie.

Le puits climatique est un réseau de canalisations enterrées qui fonctionne comme un échangeur air-sol. Utilisé pour le renouvellement d'air, cet échangeur s'appuie sur le différentiel entre la température de l'air capté à l'extérieur du bâtiment (air ambiant) et celle du sol qui tend à être constante lorsqu'une profondeur suffisante est atteinte (1m50 / 2m). Couplé à une centrale de traitement d'air (CTA), le puits climatique contribuera à diffuser dans le bâtiment un air tempéré, filtré et confortable.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Ecole « Parmentiers » à Puteaux (92)

Rénovation avec 2 puits climatiques pour 12 000 m³h.

© Pam Building (Saint-Gobain)



Ecole militaire à Bourges (18)

Mise en œuvre d'un puits climatique de 12 000 m³h.

© Pam Building (Saint-Gobain)



Lycée « Robert Schuman » à Charenton (94)

51 tubes de 27 cm de diamètre pour 36 m de longueur sont enfouis dans la cour de récréation entre 1 et 7 mètres de profondeur.

© EPICURIA Architectes via Bâtir l'Ecole - Notice technique - Ventilation et qualité de l'air intérieur.



• Le système adiabatique

Dans les écoles, le rafraîchissement adiabatique pourrait également améliorer le confort d'été en complément de la ventilation naturelle. Un système adiabatique de ventilation et de refroidissement repose sur un processus dans lequel l'air chaud est refroidi par évaporation d'eau, sans échange de chaleur avec l'environnement, ce qui abaisse la température de l'air et augmente son humidité.

Ce phénomène est basé sur le principe du changement d'état de l'eau (de liquide à gazeux), qui absorbe de l'énergie thermique de l'air pour s'évaporer, entraînant ainsi le refroidissement de l'air ambiant. Cela est similaire à la sensation de fraîcheur sur la peau lorsqu'elle est mouillée et que l'eau s'évapore. Le système consiste donc à reproduire ce principe naturel.

L'air chaud extérieur insufflé dans les locaux passe à travers un échangeur humide dans lequel circule de l'eau. L'air se refroidit et peut être diffusé dans le bâtiment à une température inférieure à celle de l'air extérieur. Pour permettre au système adiabatique d'être efficace, la rénovation du bâtiment doit avoir pour objectif la limitation des besoins de froid, via les protections solaires, l'isolation des parois et la régulation des apports internes.

Cette technologie utilisant de l'eau pour fonctionner, il est primordial de bien dimensionner les besoins et le système afin de minimiser les consommations d'eau potable. Une gestion raisonnée de l'eau, comme l'optimisation du débit, l'utilisation d'eau de pluie stockée et la réutilisation éventuelle de l'eau (nettoyage, arrosage, etc.), est essentielle.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Crèche « Jolis Mômes » à Pantin (93)

Anciens bains-douches rénovés en crèche avec installation d'un système de rafraîchissement adiabatique (Genatis / Bluetek).



© Kozlowski via Adaptaville.fr

© Dossier Genatis via Xpair



Utiliser des systèmes de refroidissement actif lors d'épisodes de canicule

Dans le cas de travaux de rénovation énergétique, les systèmes de chauffage utilisant des énergies carbonées sont souvent remplacés par des systèmes thermodynamiques (PAC Air/Air ou Air/Eau selon les cas, les installations déjà présentes et la surface à chauffer).

Il convient alors d'envisager la mise en œuvre de systèmes réversibles. Leur usage devra être optimisé et adapté pour une utilisation aux périodes caniculaires. L'ensemble des autres travaux indispensables au confort été (isolation, protections solaires, ventilation), associé à une gestion et un pilotage efficaces permettront de limiter les dépenses énergétiques.

- **La pompe à chaleur Air/Air**

Les pompes à chaleur Air/Air, lorsqu'elles ont été installées initialement pour optimiser le chauffage hiver, en remplacement de générateurs à combustible fossile, présentent des avantages en période estivale caniculaire. Dans les deux cas leur pilotage et leur régulation sont indispensables pour limiter les dépenses énergétiques. Certains modèles sont équipés de filtres permettant d'éliminer poussières, polluants et allergènes, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air intérieur.

En mode réversible, la PAC Air/Air permet non seulement de rafraîchir les espaces en période de canicule, mais aussi de réduire efficacement le taux d'humidité de l'air, un facteur clé du ressenti de chaleur. Les températures de consigne ne doivent pas présenter des écarts trop importants avec la température extérieure.



BON A SAVOIR

Selon la réglementation thermique de l'existant en vigueur, la présence d'un système de refroidissement dans un local oblige pour les bâtiments tertiaires à la mise en place de protections solaires sur toutes les baies non orientées au nord. Cette protection solaire est mobile ou doit permettre d'atteindre un facteur solaire de la baie inférieur à 0,35.

Les protections solaires extérieures mobiles sont réputées satisfaire à l'ensemble de ces exigences.

Article 30 de l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants (modifié par Arrêté du 22 mars 2017).

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Crèche et relais Assistantes maternelles à Dombasle-sur-Meurthe (54)

Remplacement d'une chaufferie avec radiateurs à haute température par une PAC Air/Air à récupération d'énergie.

Unités intérieures gainables pour limiter les réseaux frigo et optimiser le confort thermique et acoustique.



© Groupe Atlantic



RAYONNEMENT SOLAIRE ET ÉNERGIE RENOUVELABLE

Si le rayonnement solaire direct génère un inconfort important à l'intérieur du bâtiment l'été, il peut, à l'extérieur être une source de production d'énergie renouvelable.

Les panneaux photovoltaïques permettent de compenser l'utilisation ponctuelle des systèmes actifs. De plus, l'installation de production PV peut s'inscrire dans une démarche pédagogique plus large sur les énergies renouvelables et la transition écologique, sensibilisant les élèves aux enjeux environnementaux tout en contribuant à l'autonomie énergétique de l'établissement.

EXEMPLE DE SOLUTIONS

Ecole maternelle « La Viotte » à Besançon (25)

Mise en place de systèmes photovoltaïques en toiture.



© Edilians

Contrôler et gérer les installations techniques du bâtiment

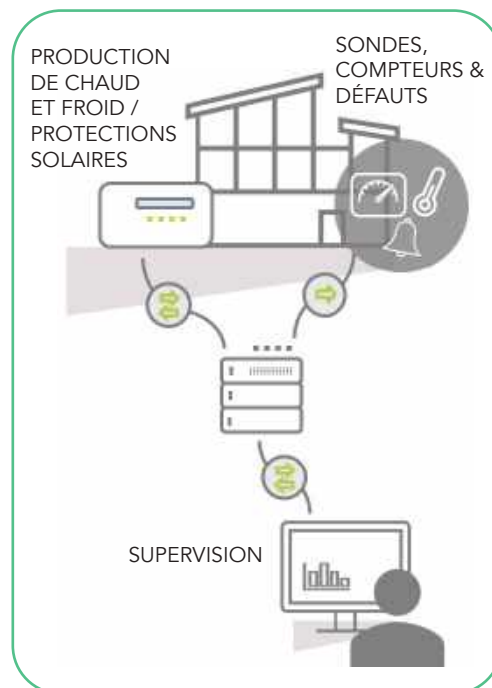
- Les systèmes de gestion technique du bâtiment (GTB) / Outils de pilotage

La mise en place d'un système de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) peut présenter des avantages, tant en matière d'optimisation énergétique que de confort des occupants.

En centralisant et en pilotant l'ensemble des systèmes énergétiques du bâtiment (chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, etc.), mais aussi ceux liés aux protections solaires, ouvertures et fermetures de certaines baies, etc., et en ajustant automatiquement ces systèmes en fonction des besoins réels (ensoleillement, occupation des salles, horaires), les systèmes de contrôle, supervision et gestion maximisent l'efficacité des équipements installés.

Cela peut s'avérer pertinent dans une école où, par définition, les taux d'occupation sont associés à une grande intermittence et à des périodes d'inoccupation (récréation, cantine, soirée, nuit, week-end, vacances scolaires, etc.). Au-delà de la réduction des coûts énergétiques et d'une meilleure gestion des pics de consommations, la GTB peut aussi contribuer à l'amélioration du confort thermique et de la qualité de l'air.

En ajustant la température en fonction de l'heure de la journée, des saisons et du nombre d'occupants, la GTB assure un confort thermique constant, sans surchauffe en hiver ou inconfort en été.



Elle contribue à une gestion intelligente des systèmes de ventilation afin d'assurer un renouvellement d'air efficace, et ainsi contrôler la concentration de CO₂. En actionnant les ouvertures/fermetures de fenêtres, la fermeture des protections solaires sur la base d'informations captées (exemple : rayonnement solaire, élévation de la température intérieure, etc.), ces systèmes de gestion favorisent le suivi et le contrôle d'éléments déterminants pour le confort et la santé.

Le décret BACS impose, aux bâtiments tertiaires existants équipés de système de chauffage (ou de climatisation) combiné ou non avec un système de ventilation, l'installation d'un système GTB, ou « système d'automatisation et de contrôle des consommations d'énergie » (BACS en anglais) d'ici au 1^{er} janvier 2027. Ces systèmes réduisent la consommation d'énergie tout en améliorant le confort des occupants, été comme hiver.

Pour les écoles non assujetties au décret BACS, la mise en place d'une technologie plus simple dédiée au pilotage des protections solaires peut être une première étape pour optimiser le confort été. D'autres modules (chauffage, ventilation, refroidissement, etc.) pourront être intégrés ultérieurement.

Tous les systèmes du bâtiment peuvent être pilotés et surveillés depuis une interface unique, permettant aux équipes techniques de gérer efficacement les opérations sans avoir à intervenir manuellement sur chaque équipement.



EXEMPLE DE SOLUTIONS

Collège « Marc Jeanjean » à Matha (17)

Mise en place d'un outil de pilotage centralisé (et commandé à distance) dans 51 collèges en Charente-Maritime (Schneider Electric).



© site internet du collège

Adapter les bons comportements pour garantir l'efficacité des solutions

Le comportement des occupants est essentiel pour garantir l'efficacité des solutions techniques mises en œuvre dans la recherche du confort estival dans les établissements scolaires. La maîtrise du confort thermique repose sur des pratiques adaptées et une compréhension collective des enjeux thermiques, dans une démarche guidée par le bon sens.

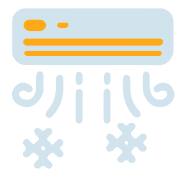
L'adaptation des comportements doit s'accompagner d'une bonne connaissance des systèmes installés. L'information et la formation des équipes pédagogiques et techniques doivent aller de pair avec la modernisation des équipements et la rénovation thermique du bâtiment. Les occupants doivent être sensibilisés à des gestes simples, tels que moduler les horaires d'aération, utiliser judicieusement les protections solaires et réguler l'éclairage en fonction de la lumière naturelle. Former le personnel et les élèves aux pratiques de « rafraîchissement passif » renforce l'efficacité des mesures techniques et fait de la gestion du confort d'été une responsabilité partagée.

En période de canicule, les systèmes thermodynamiques réversibles, installés en premier lieu pour le chauffage en hiver, peuvent être nécessaires. Cependant, pour optimiser leur usage et pour maintenir l'efficacité énergétique, il est crucial d'éviter les comportements contre-productifs, comme laisser les fenêtres ouvertes, ne pas fermer les protections solaires, faire de la ventilation naturelle dans les heures encore chaudes, etc.

De plus, l'évolution des pratiques éducatives peut contribuer à améliorer le confort thermique. Encourager la mobilité des classes vers des salles plus fraîches, organiser des activités en extérieur à l'ombre ou ajuster les horaires d'activités physiques sont autant de leviers qui favorisent le bien-être des occupants sans nécessiter de lourdes interventions.

Ainsi, l'aspect comportemental, loin d'être accessoire, complète les solutions techniques et architecturales. Une approche intégrée mobilise chaque acteur — élèves, enseignants et personnels techniques — pour améliorer la performance énergétique globale et le confort estival de l'école.

Ce cadre comportemental, fondé sur des gestes simples mais stratégiques, renforce l'efficacité des dispositifs techniques et contribue à assurer un confort d'été durable, aligné avec les objectifs de performance énergétique du bâtiment.



Mieux intégrer le confort été : principes généraux et exemples de solutions complémentaires

Il est essentiel de rappeler que le panel de solutions évoqué précédemment ne saurait être appliqué uniformément à tous les établissements. Les stratégies évoquées doivent être envisagées comme des outils adaptables, à combiner et moduler en fonction du contexte spécifique de chaque bâtiment. Chaque école présente des caractéristiques uniques – qu'il s'agisse de son âge, de ses matériaux de construction, de son implantation géographique ou de ses usages – qui imposent une réflexion approfondie et personnalisée avant toute intervention.

Le chapitre qui suit s'attachera ainsi à dresser un état des lieux du parc scolaire, en identifiant des typologies types de bâtiments pour aller au-delà de l'application systématique des techniques et avoir une approche nuancée, tenant compte des particularités architecturales, techniques et fonctionnelles de chaque école. Cette compréhension fine des typologies permettra d'ajuster les recommandations, et d'assurer que chaque solution apporte des bénéfices optimaux, sans compromettre les performances globales du bâtiment.

05

Analyse des typologies du parc français des écoles primaires

Le parc français des bâtiments scolaires, et notamment des écoles primaires, a connu un développement et une évolution riche, influencés par les contextes socio-économiques, les avancées technologiques, les changements démographiques et les politiques publiques.



Le développement du parc au fil des siècles

Plusieurs périodes marquantes, chacune caractérisée par des approches architecturales, des matériaux et des méthodes constructives spécifiques, peuvent expliquer l'évolution du parc :

- L'histoire des écoles élémentaires en France remonte à une **loi Guizot de 1833**, qui imposait à chaque commune de plus de 500 habitants d'entretenir une école primaire ;
- C'est avec les **lois Jules Ferry de 1881-1882**, rendant l'école gratuite, laïque et obligatoire, que l'on observe une véritable expansion du parc scolaire. L'architecture de ces établissements au 19^{ème} siècle était souvent simple et fonctionnelle, avec des bâtiments en pierre ou en brique, dotés d'une ou deux salles de classe, et agrémentés de logements pour les instituteurs ;
- Le **20^{ème} siècle** a vu une massification de la construction scolaire avec l'essor des « Trente Glorieuses » post Seconde Guerre mondiale. La nécessité de répondre rapidement à la demande croissante a conduit à l'adoption de techniques de construction industrielle, notamment l'emploi du béton et de bâtiments préfabriqués ;
- **A partir des années 1970** et l'appui des réglementations thermiques, les écoles sont de plus en plus pensées selon les principes du développement durable et de la pédagogie active. Sous l'impulsion de la RT2012, suivie de la RE2020, ces nouvelles normes imposent une meilleure isolation thermique, la réduction des consommations énergétiques, et l'intégration des énergies renouvelables. Pour autant, la question du confort été, ou des risques d'inconfort sous l'effet des changements climatiques et d'une exposition plus longue à des températures élevées, restent encore peu prise en compte.

Deux bâtiments scolaires construits à une même époque peuvent présenter des différences importantes sur le plan de leur efficacité énergétique et de leur performance environnementale, notamment en raison des éventuelles évolutions au cours des dernières décennies (extension, travaux d'accessibilité, premiers travaux de rénovation, etc.).

Une évolution des matériaux et des techniques

Au fil du temps, les contraintes économiques, les disponibilités locales et les progrès techniques ont également fait évoluer le parc des écoles. On le distingue notamment par les différentes techniques de construction et types de matériaux utilisés. On peut identifier trois grandes tendances temporelles :



- **Le 19^{ème} siècle**, avec l'usage de pierres, briques et mortier de chaux, avec toits en pente en ardoises ou en tuiles, et des structures simples ;
- **Le 20^{ème} siècle**, marqué par une forte urbanisation et densification de la population, a vu apparaître l'usage du béton armé, des constructions modulaires utilisant des éléments préfabriqués dictées par la nécessité de construire vite et en grand nombre, souvent au détriment de l'esthétique ;
- **Depuis les années 2000**, le choix des matériaux s'effectue davantage au regard de leur performance et de leur impact environnemental.

Des diversités régionales

Au-delà des évolutions historiques, on relève également des variations et tendances de construction selon la géographie du territoire, avec :

Dans les régions du Nord :

Prévalence de la brique et des toitures en ardoise, avec des bâtiments souvent compacts pour résister au climat rigoureux.



Ecole élémentaire Jules Ferry, Vendin-Le-Vieil (62)
© Site internet ville de Vendin le Vieil

Dans les régions du Sud :

Utilisation fréquente de la pierre calcaire, des toitures en tuiles et une conception avec des cours ombragés et des murs épais.



Ecole primaire Paul Bert, Sérignan (34)
© Site internet ville de Sérignan

Dans les zones métropolitaines de l'Île-de-France :

Écoles souvent de conception plus standardisée, avec une grande influence des mouvements architecturaux nationaux et une forte densité d'établissements.

Ecole maternelle L'Hermitage, Saint-Denis (93)
© Atlas de l'architecture et du patrimoine, Seine-Saint-Denis



A noter que, quelles que soient les époques et les régions, les écoles se caractérisent par la présence de grandes surfaces vitrées transparentes ou translucides dans les salles de classes, garantissant un accès important à la lumière naturelle mais aussi, selon les expositions, à un rayonnement solaire intense.



Les écoles françaises : un potentiel de rénovation énorme

Les établissements scolaires représentent aujourd'hui plus de la moitié du parc immobilier des collectivités locales. A noter que 2/3 des écoles primaires sont installées dans des communes de moins de 10 000 habitants et que, par ailleurs, plus de la moitié des communes françaises ont au moins une école.

Au moins un maire sur deux est donc directement concerné par les enjeux de rénovation et d'adaptation du parc immobilier soulignant la difficulté de la tâche à accomplir.

Les écoles font déjà l'objet d'un investissement soutenu des collectivités dans l'entretien et la construction, puisqu'il est dépensé en moyenne 74€/m².

Selon le Rapport de la Commission des Affaires Culturelles et de l'Éducation en conclusion des travaux de la mission d'information sur l'adaptation de l'école aux enjeux climatiques, « L'architecture des bâtiments est souvent mal adaptée au confort thermique – et particulièrement au confort d'été – longtemps considéré comme secondaire face aux enjeux de réduction de la consommation d'énergie ».



Conseil National d'étude des systèmes scolaires (2017)

« Selon une enquête du Conseil national d'étude des systèmes scolaires de 2017, « les syndicats enseignants ont témoigné des difficultés à faire classe en cas de température élevée, avec des effets néfastes sur la concentration des élèves, voire leur santé ».

Analyse du parc français des écoles primaires

Adopter une approche globale de rénovation n'est techniquement pas simple. L'architecture des écoles élémentaires en France reflète non seulement les évolutions techniques et les priorités économiques de chaque époque, mais aussi une vision de l'éducation et de l'environnement dans lequel elle se déroule.

L'analyse du parc des écoles élémentaires doit tenir compte des différents paramètres qui ont guidé la conception de ces établissements et essayer de dégager des typologies types. En effet, les solutions possibles à mettre en œuvre pour améliorer les performances thermiques de ces bâtiments devront prendre en considération les différentes potentialités mais aussi les limites de chaque typologie de construction.

Ce guide permet de mener une véritable réflexion adaptée au parc et dégage 4 typologies : l'objectif étant que chaque collectivité puisse trouver l'école répondant au mieux à ses problématiques, en veillant notamment à limiter les consommations énergétiques en hiver tout en prenant en compte les risques d'inconforts en périodes chaudes.

06

Les typologies d'écoles : caractéristiques et intégration du confort d'été

L'analyse fine du parc français des écoles a permis de retenir 4 typologies de bâtiments représentant l'essentiel du parc. L'objectif a été de regrouper des bâtiments, en fonction de plusieurs critères, afin de décrire des tendances générales permettant à chaque collectivité de s'y référer selon son patrimoine.



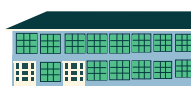
Les écoles construites
entre 1948 et 1975



Les écoles construites
après 2000



Les écoles construites entre le
19^{ème} siècle et 1948



Les écoles construites
entre 1975 et 2000

Cette synthèse n'a pas vocation à faire une représentation exhaustive de l'ensemble des bâtiments composant le parc, mais à les classer selon des caractéristiques techniques similaires, pour ensuite déterminer les solutions à préconiser les plus adéquates et applicables au plus grand nombre d'écoles.

Il a ainsi été possible de définir une certaine homogénéité au regard des années de construction, du choix des matériaux, des approches architecturales, des techniques de construction relatives à l'époque en question, etc.



Comment lire les fiches typologies ?

1/ Identifier la typologie du bâtiment scolaire

Il convient ici de prendre en compte les caractéristiques architecturales de l'établissement que l'on souhaite étudier :

Caractéristiques visuelles : avec l'appui d'illustrations représentatives de bâtiment scolaire de l'époque

Éléments de description technique : matériaux, description de la toiture, présence d'étages, contrainte architecturale et patrimoniale, présence de protections solaires et d'équipements de ventilation, isolation, etc.

2/ Se référer aux préconisations adaptées au bâtiment



Les points faibles du bâtiment en matière de prise en compte du confort été



Les potentiels du bâtiment à exploiter



Quelques exemples de solutions adaptées à la typologie du bâtiment



Typologie 1

Les écoles du 19^{ème} siècle à 1948

Cette typologie couvre deux périodes de construction :

- Les écoles construites avant 1914, notamment issues des programmes de construction impulsés par Jules Ferry (19^{ème} siècle) ont fait de l'école un espace clos au centre des communes ;
- Puis la période de l'entre-deux guerres, avec l'apparition de nouvelles techniques constructives, même si les mêmes matériaux de construction sont encore utilisés.



Les caractéristiques architecturales et techniques



Matériaux

Façade en pierre ou brique pleine



Contrainte architecturale

Façade et toiture patrimoniales



Toiture

A deux pans ou en croupe avec généralement une charpente en bois



Menuiserie et protection solaire

Simple vitrage et absence de protection solaire



Etage

Plain-pied ou un étage Grande hauteur sous plafond



Ventilation

Pas de système en place



Isolation

Inexistante

Bâtiments de typologie 1 : intégrer le confort d'été

Les points faibles : quelques constats

- Les débits de renouvellement d'air ne sont pas suffisants dans les salles de classes ;
- Les planchers et toitures ont généralement une inertie thermique légère ;
- Les apports solaires sont importants dû au manque de protections solaires performantes ;
- L'isolation thermique inexistante ne peut donc limiter le flux de chaleur entrant ;
- Les contraintes architecturales et patrimoniales peuvent restreindre la mise en oeuvre de certaines solutions.

Les potentiels à exploiter : quelques pistes

- Profiter de la hauteur sous plafond importante pour installer facilement des gaines de ventilation ;
- Gérer les volumes sous les planchers ou au dessus des plafonds offrant souvent des espaces tampons améliorables thermiquement ;
- Profiter des effets positifs de la bonne inertie des parois lourdes ;
- Exploiter, le cas échéant, les espaces vides pour améliorer l'isolation acoustique (problème acoustique des planchers légers).

Rénovation et confort été : quelques solutions



Les solutions proposées (non exhaustives) ne sont efficaces que si elles sont combinées de manière cohérente, aucune ne suffit à elle-seule. La performance globale dépendra aussi de l'intervention de professionnels et de services qualifiés, tant pour la préparation que pour la réalisation des travaux.



Mise en place de protections solaires par l'extérieur (si possible), et leur automatisation

Les protections solaires sont plus efficaces lorsqu'elles sont mises en oeuvre par l'extérieur. Mais des contraintes architecturales et urbanistiques en lien avec cette typologie d'école peuvent empêcher leur installation et amener à utiliser des systèmes par l'intérieur.

L'automatisation des protections solaires garantit leur utilisation et leur fonctionnement optimal, permettant de s'affranchir des inconvénients de la gestion des occupants.



Remplacement des ouvrants par des vitrages à contrôle solaire

Ce type de vitrage permet d'obtenir un confort lumineux optimal, tout en minimisant les effets indésirables de la chaleur excessive en réfléchissant le rayonnement solaire. Son esthétique neutre lui permet d'être intégré harmonieusement dans des bâtiments existants sans en changer leur rendu.

Automatisation des ouvrants

L'automatisation des ouvrants permet d'évacuer la chaleur des pièces et d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les classes. Elle favorise grandement la ventilation naturelle.

Film à contrôle solaire

Ces films s'appliquent sur les vitres existantes pour augmenter leur capacité à réfléchir l'énergie solaire, tout en maintenant une transmission élevée de la lumière visible. Cela permet de conserver les fenêtres existantes dans les cas où leur remplacement n'est pas envisageable.



Isolation thermique performante de la toiture

Les toitures sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. L'isolation performante de la toiture, notamment en isolation thermique par l'extérieur (ITE), permet de contenir l'élévation de la température de l'air intérieur.

Isolation thermique performante par l'extérieur sur les façades sans caractère patrimonial (côté cours, etc.)

L'isolation par l'extérieur permet de conserver l'inertie thermique des parois lourdes verticales, essentielle pour la régulation de la température intérieure. Si l'ITE n'est pas possible lors de la mise en oeuvre de solutions d'ITI, voir comment conserver ou améliorer l'inertie par ailleurs.

Tirage thermique naturel à maximiser

La création d'ouverture en toiture (fenêtre de toit, verrière, etc.) permet d'évacuer la chaleur grâce aux mouvements d'air verticaux, réduisant la température de l'air.



Installation de système de ventilation mécanique Double Flux

Ces systèmes, essentiels pour le traitement d'air des classes, peuvent permettre de faire de la surventilation nocturne quand les températures externes sont basses. Il est important cependant de garantir le respect des niveaux sonores de l'environnement proche si l'école est à proximité d'habitations.

Installation de brasseur d'air fixe

Les brasseurs d'airs sont une bonne solution pour le confort d'été. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants. La hauteur sous plafond importante facilite ces installations dans cette typologie.



Utilisation de la PAC Air/Air

La pompe à chaleur air/air, installée initialement pour optimiser le chauffage en hiver, présente également des avantages en période estivale caniculaire, notamment en termes de régulation du confort thermique pendant les vagues de chaleur.



Typologie 2

Les écoles de 1948 à 1975

Dans la période d'après-guerre, le gouvernement industrialise la construction d'établissements scolaires. Les bâtiments se distinguent par leurs constructions plus standardisées, avec une typologie simple facilitant l'industrialisation des modèles constructifs. Ils ne sont soumis à aucune réglementation thermique ou hygiénique.



Les caractéristiques architecturales et techniques



Matériaux

Structure poteaux-poutre
Façade en brique creuse et
plancher béton



Contrainte architecturale

Forme simple et
standardisée sans
caractère patrimonial



Toiture

Plate



Menuiserie et protection solaire

Simple vitrage ou double vitrage
peu performant
Absence de protection solaire



Etage

Plain-pied généralement



Ventilation

Pas de système en place



Isolation

Insuffisante

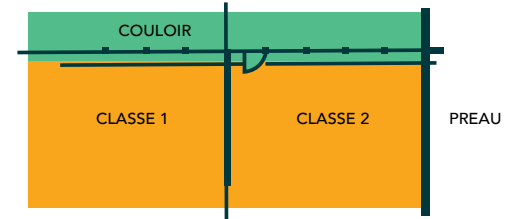
Bâtiments de typologie 2 : intégrer le confort d'été

Les points faibles : quelques constats

- Les débits de renouvellement d'air ne sont pas suffisants dans les salles de classes ;
- Les apports solaires sont importants dû au manque de protections solaires performantes ;
- L'isolation thermique insuffisante ne limite pas le flux de chaleur entrant.

Les potentiels à exploiter : quelques pistes

- Envisager des ouvertures en façade pour rendre les classes traversantes et maximiser la ventilation naturelle.
- Profiter de l'espace tampon des couloirs de circulation
- Envisager de démonter les faux plafonds pour profiter de l'inertie du plancher ;
- Isoler par l'extérieur si possible pour garder au moins deux parois lourdes.



Rénovation et confort été : quelques solutions



Les solutions proposées (non exhaustives) ne sont efficaces que si elles sont combinées de manière cohérente, aucune ne suffit à elle-seule. La performance globale dépendra aussi de l'intervention de professionnels et de services qualifiés, tant pour la préparation que pour la réalisation des travaux.



Mise en place de protections solaires par l'extérieur et leur automatisation

L'automatisation des protections solaires garantit leur utilisation et leur fonctionnement optimal, permettant de s'affranchir des inconvénients de la gestion des occupants.



Remplacement des ouvrants par des vitrages à contrôle solaire

Ce type de vitrage permet d'obtenir un confort lumineux optimal, tout en minimisant les effets indésirables de la chaleur excessive en réfléchissant le rayonnement solaire. Son esthétique neutre lui permet d'être intégré harmonieusement dans des bâtiments existants sans en changer le rendu.

Automatisation des ouvrants

L'automatisation des ouvrants permet d'évacuer la chaleur des pièces et d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les classes. Elle favorise grandement la ventilation naturelle et le tirage thermique.

Mise en place d'une toiture végétalisée

Les toitures végétalisées favorisent l'isolation thermique et permettent une stabilisation des températures des parois (variations moins fortes) grâce à la couche de substrats, et bloquent les rayons UV. La végétalisation peut également apporter une bonne inertie thermique aux bâtiments. La toiture doit être adaptée pour recevoir un complexe isolation-étanchéité anti-racine. La charpente doit également être redimensionnée pour accepter les charges liées à la végétalisation.



Isolation thermique performante de la toiture

Les toitures sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. L'isolation performante de la toiture, notamment en isolation thermique par l'extérieur (ITE), permet de contenir l'élévation de la température de l'air intérieur.

Isolation thermique performante des façades par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur permet de conserver l'inertie thermique des parois lourdes verticales, essentielle pour la régulation de la température intérieure.

Isolation en système de façade

Les systèmes d'isolation répartie sont particulièrement adaptés aux structures légères de type poteaux-poutres. Ils sont facilement applicables grâce à une mise en œuvre rapide et améliorent le confort d'été grâce à une meilleure isolation et inertie thermiques.

Tirage thermique naturel à maximiser

La création d'ouverture en toiture (fenêtre de toit, verrière, etc.) permet d'évacuer la chaleur grâce aux mouvements d'air verticaux, réduisant la température de l'air.



Installation de système de ventilation mécanique Double Flux

Ces systèmes, essentiels pour le traitement d'air des classes, peuvent permettre de faire de la surventilation nocturne quand les températures externes sont basses. Il est important cependant de garantir le respect des niveaux sonores de l'environnement proche si l'école est à proximité d'habitations.

Installation de brasseur d'air fixe

Les brasseurs d'air sont une bonne solution pour le confort d'été. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants.



Installation et utilisation d'une GTB (Gestion Technique du Bâtiment)

La GTB assure un confort thermique constant en ajustant la température en fonction de l'heure de la journée, des saisons et du nombre d'occupants. Elle peut aussi contribuer à une gestion intelligente des systèmes de ventilation, notamment pour la surventilation nocturne. Elle permet également de piloter les protections solaires.



Utilisation de la PAC Air/Air

La pompe à chaleur air/air, installée initialement pour optimiser le chauffage en hiver, présente également des avantages en période estivale caniculaire, notamment en termes de régulation du confort thermique pendant les vagues de chaleur.



Typologie 3

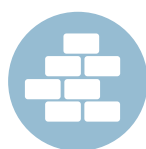
Les écoles de 1975 à 2000

Les premières réglementations thermiques normalisent la performance des bâtiments.

Les collectivités sont désormais en charge des établissements et les typologies sont de plus en plus marquées par le « post-modernisme ». Les bâtiments de cette période sont plus diversifiés dans leurs formes.



Les caractéristiques architecturales et techniques



Matériaux

Structure en béton



Contrainte architecturale

Forme compacte sans caractère patrimonial



Toiture

Généralement plate



Menuiserie et protection solaire

Double vitrage peu performant
Absence de protection solaire



Etage

Plain-pied ou plusieurs étages possibles



Ventilation

Système mécanique



Isolation

Insuffisante

Bâtiments de typologie 3 : intégrer le confort d'été

Les points faibles : quelques constats

- Le renouvellement d'air n'est pas utilisé pour la surventilation nocturne dans les salles de classes ;
- Le bâtiment compact ne favorise pas la ventilation naturelle ;
- Les apports solaires sont importants dû au manque de protections solaires performantes ;
- L'isolation thermique insuffisante ne limite pas le flux de chaleur entrant.

Les potentiels à exploiter : quelques pistes

- Maximiser les surfaces d'échanges avec les parois lourdes, en démontant les doublages courants et les faux plafonds ;
- Optimiser la gestion des équipements de ventilation existants si récents ;
- Isoler par l'extérieur si possible pour garder au moins deux parois lourdes.

Rénovation et confort été : quelques solutions



Les solutions proposées (non exhaustives) ne sont efficaces que si elles sont combinées de manière cohérente, aucune ne suffit à elle-seule. La performance globale dépendra aussi de l'intervention de professionnels et de services qualifiés, tant pour la préparation que pour la réalisation des travaux.



Mise en place de protections solaires par l'extérieur et leur automatisation

L'automatisation des protections solaires garantit leur utilisation et leur fonctionnement optimal, permettant de s'affranchir des inconvénients de la gestion des occupants.



Remplacement des ouvrants par des vitrages à contrôle solaire

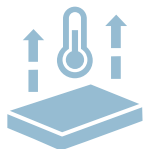
Ce type de vitrage permet d'obtenir un confort lumineux optimal, tout en minimisant les effets indésirables de la chaleur excessive en réfléchissant le rayonnement solaire. Son esthétique neutre lui permet d'être intégré harmonieusement dans des bâtiments existants sans en changer leur rendu.

Automatisation des ouvrants

L'automatisation des ouvrants permet d'évacuer la chaleur des pièces et d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les classes. Elle favorise grandement la ventilation naturelle et le tirage thermique, surtout dans les bâtiments compacts.

Mise en place d'une toiture végétalisée

Les toitures végétalisées favorisent l'isolation thermique et permettent une stabilisation des températures des parois (variations moins fortes), grâce à la couche de substrats, et bloquent les rayons UV. La végétalisation peut également apporter une bonne inertie thermique aux bâtiments. La toiture doit être adaptée pour recevoir un complexe isolation-étanchéité anti-racine. La charpente doit également être redimensionnée pour accepter les charges liées à la végétalisation.



Isolation thermique performante de la toiture

Les toitures sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. L'isolation performante de la toiture, notamment en isolation thermique par l'extérieur (ITE), permet de contenir l'élévation de la température de l'air intérieur.

Isolation thermique performante des façades par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur permet de conserver l'inertie thermique des parois lourdes verticales, essentielle pour la régulation de la température intérieure.

Isolation en système de façade

Les systèmes d'isolation répartie sont particulièrement adaptés aux structures légères de type poteaux-poutres. Ils sont facilement applicables grâce à une mise en œuvre rapide et améliorent le confort d'été grâce à une meilleure isolation et inertie thermiques.

Tirage thermique naturel à maximiser

La création d'ouverture en toiture (fenêtre de toit, verrière, etc.) permet d'évacuer la chaleur grâce aux mouvements d'air verticaux, réduisant la température de l'air.



Installation de système de ventilation mécanique Double Flux

Ces systèmes, essentiels pour le traitement d'air des classes, peuvent permettre de faire de la surventilation nocturne quand les températures externes sont basses. Il est important cependant de garantir le respect des niveaux sonores de l'environnement proche si l'école est à proximité d'habitations.

Installation de brasseur d'air fixe

Les brasseurs d'air sont une bonne solution pour le confort d'été. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants.



Installation et utilisation d'une GTB (Gestion Technique du Bâtiment)

La GTB assure un confort thermique constant en ajustant la température en fonction de l'heure de la journée, des saisons et du nombre d'occupants. Elle peut aussi contribuer à une gestion intelligente des systèmes de ventilation, notamment pour la surventilation nocturne. Elle permet également de piloter les protections solaires.



Utilisation de la PAC Air/Air

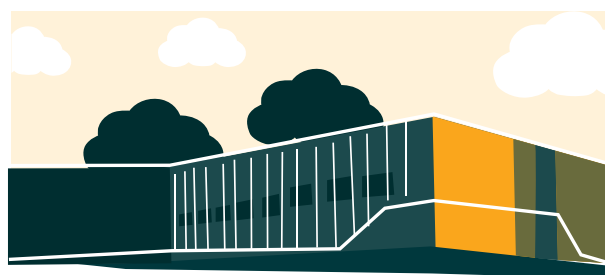
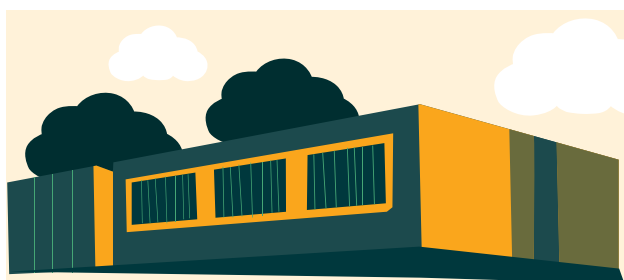
La pompe à chaleur air/air, installée initialement pour optimiser le chauffage en hiver, présente également des avantages en période estivale caniculaire, notamment en termes de régulation du confort thermique pendant les vagues de chaleur.



Typologie 4

Les écoles après 2000

Les bâtiments sont construits selon les réglementations thermiques de plus en plus performantes (à partir de la RT2000). La nécessité de créer de nouvelles écoles s'estompe doucement, en particulier dans les régions en recul démographique. Même si les bâtiments sont de plus en plus équipés, les sources d'inconfort d'été ne sont cependant pas bien traitées dans la conception. Les bâtiments de cette typologie n'ont pas de ressemblance structurelle ou architecturale.



Les caractéristiques architecturales et techniques



Matériaux

Structure en béton



Contrainte architecturale

Pas de contrainte



Toiture

Généralement plate



Menuiserie et protection solaire

Absence de protection solaire



Etage

Plain-pied ou plusieurs étages possibles



Ventilation

Système mécanique



Isolation

Performante

Bâtiments de typologie 4 : intégrer le confort d'été

Les points faibles : quelques constats

- Le renouvellement d'air n'est pas utilisé pour la surventilation nocturne dans les salles de classes ;
- Le bâtiment compact ne favorise pas la ventilation naturelle ;
- Les débits de renouvellement d'air ne sont pas suffisants dans les salles de classes ;
- Les apports solaires sont importants dû au manque de protections solaires performantes.

Les potentiels à exploiter : quelques pistes

- Adapter les solutions suivant l'existant pour éviter les contre-performances ;
- Adapter le renouvellement des équipements ;
- Optimiser la régulation des systèmes énergétiques existants.

Rénovation et confort été : quelques solutions



Les solutions proposées (non exhaustives) ne sont efficaces que si elles sont combinées de manière cohérente, aucune ne suffit à elle-seule. La performance globale dépendra aussi de l'intervention de professionnels et de services qualifiés, tant pour la préparation que pour la réalisation des travaux.



Mise en place de protections solaires par l'extérieur et leur automatisation

L'automatisation des protections solaires garantit leur utilisation et leur fonctionnement optimal, permettant de s'affranchir des inconvénients de la gestion des occupants.



Remplacement des ouvrants par des vitrages à contrôle solaire

Ce type de vitrage permet d'obtenir un confort lumineux optimal, tout en minimisant les effets indésirables de la chaleur excessive en réfléchissant le rayonnement solaire. Son esthétique neutre lui permet d'être intégré harmonieusement dans des bâtiments existants sans en changer leur rendu.

Automatisation des ouvrants

L'automatisation des ouvrants permet d'évacuer la chaleur des pièces et d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les classes. Elle favorise grandement la ventilation naturelle et le tirage thermique, surtout dans les bâtiments compacts.

Isolation thermique performante par l'extérieur sur les façades sans caractère patrimonial (côté cours, etc.)

L'isolation par l'extérieur permet de conserver l'inertie thermique des parois lourdes verticales, essentielle pour la régulation de la température intérieure.



Isolation thermique performante de la toiture

Les toitures sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. L'isolation performante de la toiture, notamment en isolation thermique par l'extérieur (ITE), permet de contenir l'élévation de la température de l'air intérieur.

Mise en place d'une toiture végétalisée

Les toitures végétalisées favorisent l'isolation thermique et permettent une stabilisation des températures des parois (variations moins fortes) grâce à la couche de substrats, et bloquent les rayons UV. La végétalisation peut également apporter une bonne inertie thermique aux bâtiments. La toiture doit être adaptée pour recevoir un complexe isolation-étanchéité anti-racine. La charpente doit également être redimensionnée pour accepter les charges liées à la végétalisation.

Tirage thermique naturel à maximiser

La création d'ouverture en toiture (fenêtre de toit, verrière, etc.) permet d'évacuer la chaleur grâce aux mouvements d'air verticaux, réduisant la température de l'air.



Installation de système de ventilation mécanique Double Flux

Ces systèmes, essentiels pour le traitement d'air des classes, peuvent permettre de faire de la surventilation nocturne quand les températures externes sont basses. Il est important cependant de garantir le respect des niveaux sonores de l'environnement proche si l'école est à proximité d'habitations.

Installation de brasseur d'air fixe

Les brasseurs d'air sont une bonne solution pour le confort d'été. Leur rôle principal n'est pas de refroidir directement l'air, mais de favoriser le mouvement de celui-ci, créant ainsi une sensation de rafraîchissement pour les occupants.



Installation et utilisation d'une GTB (Gestion Technique du Bâtiment)

La GTB assure un confort thermique constant en ajustant la température en fonction de l'heure de la journée, des saisons et du nombre d'occupants. Elle peut aussi contribuer à une gestion intelligente des systèmes de ventilation, notamment pour la surventilation nocturne. Elle permet également de piloter les protections solaires.



Utilisation de la PAC Air/Air

La pompe à chaleur air/air, installée initialement pour optimiser le chauffage en hiver, présente également des avantages en période estivale caniculaire, notamment en termes de régulation du confort thermique pendant les vagues de chaleur.



07

Synthèse & recommandations

Les défis posés par le réchauffement climatique, et notamment les épisodes de fortes chaleurs, appellent à une réflexion plus large sur la manière dont nous concevons et rénovons nos bâtiments.

En prenant le temps de comprendre les sources de chaleur et les multiples facteurs qui influencent leur intensité, nous ouvrons la voie à des solutions réfléchies, équilibrées et adaptées à chaque contexte.

L'amélioration du confort thermique des écoles ne repose pas sur une seule réponse, mais sur une combinaison de gestes simples et d'actions plus élaborées qui, ensemble, offrent des résultats concrets et durables.

L'adaptation des bâtiments scolaires au changement climatique constitue un impératif. Pour faire du confort été une priorité dans la rénovation des écoles, plusieurs recommandations sont à prendre en compte, que ce soit au travers d'ajustements rapides ou de rénovations plus ambitieuses.

Ces recommandations sont avant tout une opportunité : celle de réinventer nos lieux d'apprentissage en harmonie avec les enjeux actuels.



Identifier les sources de chaleur et les facteurs qui les accentuent

pour mieux choisir les solutions envisageables et les gestes d'amélioration (environnement immédiat du bâtiment, son architecture et sa typologie, état de l'isolation, systèmes technologiques déjà existants, apports solaires, apports internes, etc).

Construire un projet de rénovation durable et adapté

permettant de limiter la montée en température du bâtiment ainsi que son impact environnemental via le choix de matériaux et équipements à faible impact environnemental.

Adopter une approche globale

qui intègre à la fois les performances thermiques du bâtiment ainsi que les autres aspects du confort (qualité de l'air intérieur, accès à la lumière naturelle, acoustique) garantissant un environnement sain.

Choisir des solutions adaptées

et les combiner entre elles de manière cohérente pour une meilleure efficacité (le confort d'été d'un bâtiment ne repose pas sur un composant unique ; aucune solution ne suffit à elle seule).

Privilégier en premier lieu des actions simples

des gestes de bon sens et accessibles (peu coûteux), ne nécessitant pas de travaux lourds et pouvant déjà atténuer les effets des fortes chaleurs, particulièrement en situation d'urgence (canicule) : installer des brasseurs d'air, des protections solaires, créer des courants d'air la nuit, etc.

Inscrire les actions dans une approche long terme

permettant une combinaison progressive de solutions plus complexes, allant jusqu'à des travaux significatifs, afin d'optimiser leur efficacité.

Respecter les réglementations et faire appel à des professionnels qualifiés

pour obtenir des conseils personnalisés et une mise en œuvre de qualité, afin de garantir des résultats durables et adaptés (tant pour la préparation que pour la réalisation des travaux).

Impliquer les occupants (élèves et personnel des écoles)

pour que chacun mène des actions de sobriété. Le comportement des occupants est essentiel pour garantir l'efficacité des solutions techniques mises en œuvre. L'information et la formation des équipes pédagogiques et techniques doivent aller de pair avec la modernisation des équipements et la rénovation thermique du bâtiment.

Ce guide s'inscrit dans une démarche plus large pour engager un mouvement massif de rénovation énergétique des bâtiments scolaires et éducatifs.

Il existe d'ailleurs la Charte de la rénovation énergétique du bâti scolaire. Co-conçue par la Banque des Territoires, le Cerema, le CSTB, et soumise à l'ensemble des partenaires du programme EduRénov, cette Charte nationale constitue un document de référence pour guider sans contraindre les collectivités dans la conduite de leurs projets de rénovation énergétique d'établissements scolaires ou éducatifs.



Remerciements

Remerciements à la Banque des Territoires et aux équipes du Programme EduRénov -

Nicolas TURCAT, Lila FERGUENIS, Romain RIBEIRO - qui nous ont confié la mission d'aborder un sujet aussi essentiel que celui du confort été à intégrer lors de la rénovation des bâtiments scolaires. Leur confiance témoigne de leur engagement constant en faveur de l'amélioration des infrastructures éducatives et de la transition énergétique face aux défis climatiques.

Grâce à leur soutien, nous avons pu mener une réflexion approfondie et développer des recommandations adaptées aux besoins des collectivités, dans un souci d'optimisation du confort thermique et de bien-être des usagers.

Ce partenariat précieux nous encourage à poursuivre cette démarche avec rigueur et ambition, au service des collectivités et des acteurs locaux.

Remerciements au Docteur Fabien SQUINAZI du Haut Conseil de la santé publique,

pour ses apports sur la question primordiale de la santé des enfants.

Remerciements à l'ensemble des membres participant au groupe de travail « Confort

été et rénovation des écoles » du Cercle Promodul / INEF4 pour leurs soutiens et apports techniques tout au long de la rédaction de ce guide.

Matthieu ARLOT - Julien BAJOLET - Guy BARET - Jean-Marie CAOUS -
Guillaume CAYEUX - Sébastien CHAPUIS - Laurent CIFOUX - Alexis DAMIA
- Charly DE LAAGE - Emilie DOMANGE - Faycal EL FGAIER - Amaury FIEVEZ
- Johnny GARATTONI - Rodolphe GODIN - Laurent GUEDON - Jérémie
GUILLORIT - Imane KRIMI - Donatien LAUFER - Charlotte LE DROUMAGUET
- Matthieu LECHANTRE - Thibault LUCIAK - François MAGUEUR - Sylvie
MERCIER - Aymeric PERONNAU-NYSSSENS - Jacques PERROCHAT - Romain
PIERRON - Michel SCHMITT - Gaël SOUCHET - Hugo VIOT - Laure WIPF.

Conception graphique et illustrations : Eva MOREIRA / evamoreira.com

Références

1. [Vagues de chaleur et changement climatique](#), Météo France, septembre 2023
2. [Rapport d'information en conclusion des travaux de la mission d'information sur l'adaptation de l'école aux enjeux climatiques](#), Graziella MELCHIOR et Francesca PASQUINI Assemblée Nationale, décembre 2023
3. [Adaptation climatique : les chiffres à retenir du dernier rapport d'Oxfam](#), Novethic, juillet 2024
4. [Amélioration du confort d'été : les écoles](#), EnvirobatBDM, CAUE13, juin 2023
5. [Les cours d'écoles oasis](#), CAUE de Paris
6. [Rafraîchissement passif et confort d'été : panorama de solutions pour l'adaptation du bâtiment au changement climatique](#), Cercle Promodul / INEF4, décembre 2020
7. [Les chiffres clés du système éducatif, taille des classes à la rentrée 2022](#), Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse
8. [Améliorer le confort thermique des bâtiments scolaires pendant les vagues de chaleur](#), Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse, juin 2020
9. [Prévenir les risques liés aux fortes chaleurs chez l'enfant](#), Santé Publique France, juillet 2021
10. [Fiche d'aide à la décision relative à la fermeture des écoles primaires en vigilance canicule rouge](#), Haut Conseil de la Santé Publique, avril 2020
11. [Etude confort thermique dans les écoles](#), Envirobat Réunion, 2018-2019
12. [Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork](#), Wargocki Pawel et Wyon David, Building and Environment, février 2017
13. [« Heat and Learning : Faculty Research Working Paper Series »](#), J.Goodman, M.Hurwitz, J.Park, J.Smith, Harvard Kennedy School, mai 2018
14. [Healthy Buildings - Barometer 2024](#), VELUX, avril 2024
15. [Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone \(CO2\) dans l'air intérieur des établissements recevant du public \(ERP\)](#), Haut Conseil de la santé publique, janvier 2022
16. [Ventilation rates in schools and pupils' performance](#), Building and Environment, février 2012
17. [Qualité de l'air et confort dans les écoles en France : premiers résultats de la campagne nationale](#), Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, juin 2018
18. [Daylight and School Performance in European Schoolchildren](#), Ramen Munir Munir Baloch, Cara Nichole Maesano, Jens Christoffersen, Corinne Mandin, Eva Csobod, et al.. Daylight and School Performance in European Schoolchildren. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020
19. [Le bruit dans les écoles élémentaires](#), Charlotte Mathé, Architecture, aménagement de l'espace, 2023
20. [Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone \(CO2\) dans l'air intérieur des établissements recevant du public \(ERP\)](#), Haut Conseil de la Santé Publique, janvier 2022. Tableau de répartition de la valeur la plus élevée de l'indice ICONNE dans les écoles maternelles et élémentaires
21. [Les établissements scolaires](#), Ministère de l'Education nationale
22. [La qualité de vie à l'école - L'école française propose-t-elle un cadre de vie favorable aux apprentissages et aux bien-être des élèves ?](#), cnesco, octobre 2017



Bibliographie

- [Comment s'adapter au changement climatique ? Bonnes pratiques et recommandations aux élus locaux](#), AREC Île-de-France, département Énergie climat de L'Institut Paris Region, Association des maires d'Île-de-France, Direction régionale Île-de-France de l'ADEME, juin 2022
- [Charte de la rénovation des bâtis scolaires](#), Banque des Territoires, Cerema, CSTB, septembre 2024
- [Bâti du XXème siècle – stratégie pour une rénovation adaptée en Occitanie](#), CAUE d'Occitanie, juin 2018
- [Bâtiments publics : prévenir les coups de chaleur](#), Cerema, juillet 2023
- [Ecoles de demain : rénover ou construire autrement](#), Cerema, avril 2024
- [Bâtiments d'enseignements : intégrer la rénovation dans sa politique patrimoniale](#), Certivea, juillet 2024
- [Bâtir pour la santé des enfants](#), Suzanne DEOUX, MEDIECO, 2010
- [Les dossiers thématiques : rénovation des écoles](#), Energie+
- [Plan canicule pour les élèves](#), FCPE
- [Nitrogen dioxide exposure in school classrooms of inner-city children with asthma](#), Gaffin, Jonathan M. et al., Journal of Allergy and Clinical Immunology, Volume 141, Issue 6, 2249 - 2255. e2, 2018
- [Etude des typologies de rénovation énergétique des bâtiments éducatifs sous l'approche EnergieSprong](#), GreenFlex, EnergieSprong, mars 2022
- [Rénover ou construire un établissement scolaire](#), Knauf Insulation, avril 2022 [Rapport sur la rénovation énergétique des bâtiments scolaires](#), Ministère de l'économie et des finances, février 2020
- [Bâtir l'école maternelle](#), Ministère de l'Education nationale et de la Jeunesse
- [Le Fonds vert pour l'accélération de la transition écologique dans les territoires](#), Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, novembre 2023
- [Le Fonds vert – Rénovation énergétique des bâtiments publics locaux](#), Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2023
- [Solutions pour établissements scolaires et de petite enfance](#), Isover, Placo, Isonat
- [Etablissements d'enseignement : enjeux d'aujourd'hui et de demain](#), Saint-Gobain, mai 2023
- [Prévenir les risques liés aux fortes chaleurs chez l'enfant](#), Santé publique France, juillet 2021
- [Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study](#), Science of The Total Environment, 2020

Crédits photos / Adobe Stock / Freepik / Canva Pro / Unsplash : © PJ Gallery (générée à partir d'une intelligence artificielle) – © Louis-Photo – © Dee karen – © johoo – © ODIN Daniel – © Sana Baleia – © Alain Delpy – © ifeelstock – © Ilgun (générée à partir d'une intelligence artificielle) – © Pascale Gueret – © sissoupitch – © PackShot – © PackShot – © zouzoubaby13 – © AUFORT Jérôme – © Anna - Alin Gavriiuc – © buzbuzz – © Syda Productions – © Markus Spisec





Rénovation des écoles : Intégrer le confort d'été

Guide pratique pour accompagner
les décideurs locaux, les élus
et les techniciens



Télécharger le guide au format numérique :



lab.cercle-promodul.inef4.org



ÉDURÉNOV



Novembre 2024