

Les écoles face au risque climatique

Agir maintenant contre la surchauffe dans les écoles



Rapport d'étude

Juin 2025

Le Cerema est l'expert public de l'adaptation des territoires au changement climatique

Il est l'unique établissement national dont la gouvernance est à pilotage partagé entre l'État et les collectivités territoriales avec plus de 950 collectivités adhérentes. Il est présent dans l'Hexagone et dans les Outre-mer grâce à ses 27 implantations et ses 2 500 agents.

Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques et projets d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche, le Cerema agit dans six domaines d'activité : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Le Cerema est un établissement public relevant du ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation, et du ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche.

Confort d'été dans les écoles

Agir maintenant contre la surchauffe dans les écoles

Commanditaire : Cerema

Auteur :

Responsable du rapport

Noémie SIMAND – Département Bâtiments durables

Direction Territoires et Ville – 2 rue Antoine-Charial 69003 Lyon

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1	11/06/2025	
V2	30/06/2025	

Références

N° NOVA : 23-TV-0205

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
SIMAND Noémie	Cerema Territoires et Ville	Auteur principal		NS
Rémy Chaille	Cerema Méditerranée	Contributeur		RC
Noëlie Daviau-Pellegrin	Cerema Est	Contributrice		NDP
Isabelle Pereyron	Cerema Centre-Est	Contributrice		IP
Sakina Pen Point	Cerema Territoires et Ville	Contributrice		SPP
Iara Le Saux	Cerema Ouest	Contributrice		ILS
Stacy Alogna	Cerema Sud-Ouest	Contributrice		SA
Karine Jan	Cerema Méditerranée	Relectrice		KJ
Clément Peyrol	Cerema Méditerranée	Relecteur		CP
Romuald Jobert	Cerema Centre-Est	Relecteur		RJ
Laurent Herlin	Cerema Hauts-de-France	Relecteur		LH
Jérôme Guespin	Cerema Hauts-de-France	Relecteur		JG
Cédric Lentillon	Cerema Territoires et Ville	Relecteur		CL
Rémy Pugeat	Cerema Territoires et Ville	Mise en page		RP
Delphine Paludetto	Cerema Occitanie	Relectrice		DP

Résumé de l'étude

Les 35 dernières années ont connu une forte augmentation des épisodes de chaleur : elles ont été marquées par 7 fois plus de vagues de chaleur que les 35 années précédentes et 4 fois plus de canicules annuelles en moyenne sur la dernière décennie (2013-2023) qu'entre 1980 et 1989. Les projections climatiques montrent avec certitude qu'aucun territoire ne sera épargné par cette hausse des températures.

Or, les enfants constituent un public vulnérable face à ce risque de chaleur, et le parc scolaire métropolitain est globalement inadapté. Les collectivités doivent donc agir rapidement, pour répondre aux situations les plus urgentes, tout en adoptant une stratégie permettant de prioriser et planifier les efforts. La phase de diagnostic est essentielle pour choisir les actions qui seront adaptées à chaque école en fonction de ses caractéristiques techniques et d'usage, et de son contexte territorial.

En suivant les principes du bioclimatisme, le rapport balaie ensuite les actions mobilisables dès maintenant, en dehors de la rénovation globale qui reste l'action la plus pertinente, mais qui n'est pas toujours possible : aménager les extérieurs des écoles en privilégiant les solutions d'adaptation fondées sur la nature, diminuer les apports de chaleur notamment en protégeant les vitrages, évacuer la chaleur, baisser la température ambiante et ressentie et enfin réfléchir à de nouvelles pratiques d'usage.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Surchauffe	Usages
École	Confort
Bâti scolaire	Cours d'école
Risque	Adaptation au changement climatique
Gestionnaire	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Contexte et objet de l'étude

Le Cerema accompagne les collectivités dans leur stratégie d'adaptation au changement climatique.

Plus particulièrement, sur le sujet des sites et bâtiments scolaires, le Cerema est un acteur incontournable se distinguant par une vision globale à la croisée de nombreux enjeux : aménagement des cours d'école, sécurisation des abords, rénovation et actions de sobriété dans les écoles, accessibilité, qualité de l'air intérieur...

Cette étude s'inscrit dans une volonté d'accompagner les collectivités sur des sujets à enjeux concernant les écoles, collèges et lycées : l'adaptation de ces établissements face au risque de forte chaleur et le confort.

Il ne s'agit pas d'une publication, mais d'un rapport d'étude qui présente un état de l'art, offrant un panorama non exhaustif sur le sujet de la surchauffe dans les écoles.

Ce document est à destination des techniciens de collectivités.

Enseignements de cette étude

Face à la surchauffe dans les écoles qui devient un sujet de plus en plus pressant et généralisé, les collectivités doivent agir.

Les maîtres d'ouvrage sont confrontés à un double défi : à la fois agir en urgence pour répondre aux situations les plus préoccupantes, mais aussi réfléchir et mettre en place une stratégie d'action sur l'ensemble de leur parc scolaire, intégrant la rénovation globale et complète des écoles.

Dans les deux cas, **la phase de diagnostic est essentielle** car les solutions à mettre en œuvre seront différentes pour chaque école en fonction de son environnement (au sein d'un îlot de chaleur urbain, d'une zone de surchauffe urbaine ou au contraire d'une zone de fraîcheur) et de ses caractéristiques architecturales (orientation, surfaces vitrées, inertie, bâtiment traversant ou pas...).

Il est important dans tous les cas **d'adopter une approche globale multi-échelle** afin de maximiser les effets : adapter le bâtiment, mais aussi la cour d'école, les abords de l'école, voire les itinéraires piétons permettant de se rendre en différents lieux stratégiques de la ville.

Il apparaît également **essentiel d'intégrer dans le projet les occupants** : enseignants, élèves, parents, responsables du périscolaire, responsables des espaces verts, et des services techniques... afin de choisir les actions qui seront les plus adaptées aux usages, aux ressources humaines et compétences techniques.

Une évolution des pratiques est à envisager, aussi bien du côté de la collectivité (par exemple prévoir d'allouer plus de moyens à l'entretien des cours d'école végétalisées, modifier les horaires du gardien pour ouvrir ou fermer les fenêtres la nuit) que des enseignants et des parents (par exemple, accepter que les cours déminéralisées soient plus salissantes pour les enfants).

Il apparaît également essentiel de **former les occupants et les utilisateurs des locaux à la gestion de la chaleur et aux équipements** à leur disposition : à quel moment de la journée est-il préférable de fermer les fenêtres, de baisser les volets, comment bien utiliser le brasseur d'air, etc.

Des organisations nouvelles sont à mettre en place et des expérimentations à lancer : adapter les horaires, faire l'école dans d'autres lieux climatisés ou dans des zones refuges, mettre en œuvre des solutions dérogatoires de manière exceptionnelle...

Enfin, parmi l'éventail possible de solutions, il faut retenir qu'à ce jour, **les protections solaires et les brasseurs d'air sont identifiés comme les plus efficaces et les plus résilientes. Mais ces solutions doivent s'inscrire** dans une approche globale de traitement des surchauffes.

La pertinence de ces solutions doit être également analysée au regard de différents impacts pour le gestionnaire à travers le questionnement suivant :

- quelle est leur efficacité en période de fortes chaleurs ?
- sont-elles pénalisantes pour le confort thermique en période de froid ?
- sont-elles provisoires, pour répondre en urgence ? ou est-ce une solution long terme ?
- sont-elles faciles à mettre en œuvre ?
- sont-elles faciles d'entretien ? de maintenance ? (et les services concernés ont-ils les compétences nécessaires ?)
- nécessitent-elles l'action des occupants ? faut-il envisager une démonstration de leur utilisation in situ ?
- consomment-elles beaucoup d'énergie pour fonctionner ?
- sont-elles coûteuses (à l'installation ? à l'entretien ?)
- ...

Ce rapport fait l'état des principales solutions connues à ce jour. La performance de certaines solutions doit encore être justifiée par la mesure.

Les équipes du Cerema restent mobilisables pour identifier de nouvelles solutions.

SOMMAIRE

Introduction	9
1 Le risque de surchauffe dans les bâtiments scolaires	10
1.1 Contexte et perspective : chaleur et dérèglement climatique	10
1.2 Comment définir l'inconfort d'été ?	13
1.3 Les effets de la chaleur sur les enfants.....	15
2 Diagnostiquer la surchauffe pour définir une stratégie d'action	17
2.1 À l'échelle d'un parc immobilier scolaire : connaître la vulnérabilité à la chaleur pour prioriser les investissements.....	17
2.2 À l'échelle d'un bâtiment : choisir des méthodes de diagnostic adaptées à l'intention.....	19
La visite terrain : indispensable pour tout diagnostic.....	19
Mêler instrumentation technique et retour des occupants.....	20
Une simulation thermique dynamique pour les projets ambitieux.....	21
3 Définir une stratégie et mettre en place des actions à court et moyen termes	24
3.1 Mettre en place des stratégies d'intervention basées sur les principes du bioclimatisme	24
Agir en urgence : avec quelles actions ?	26
3.2 Aménager les extérieurs des écoles en privilégiant les solutions d'adaptation fondées sur la nature.....	27
Désimperméabiliser les cours d'école.....	27
Intégrer l'eau de pluie dans la cour	28
Végétaliser les façades, la cour et les abords d'école.....	30
Installer des voiles d'ombrage	37
3.3 Diminuer les apports de chaleur	38
Protéger le bâtiment du rayonnement solaire	38
Maîtriser les apports internes.....	46
3.4 Évacuer la chaleur : le rafraîchissement nocturne	47
Les différents types de rafraîchissements nocturnes	47
3.5 Baisser la température ambiante et ressentie dans le bâtiment de l'école	49
Agir sur la température ressentie	49
Baisser la température ambiante (mesurée)	53
3.6 L'utilisation du bâtiment et les pratiques	58
L'action des occupants	58
L'adaptation de l'habillement	58
L'adaptation des horaires de classe.....	58
Utiliser les espaces de l'école de manière différenciée	59

L'adaptation des pratiques éducatives : l'école hors l'école	59
4 Conclusion.....	61
5 Annexes	63
5.1 Bibliographie.....	63
5.2 Table des illustrations	64

INTRODUCTION

L'adaptation du patrimoine scolaire au changement climatique constitue un enjeu majeur pour les collectivités, en particulier face à la multiplication et l'intensification des épisodes de surchauffe. Selon Météo France, des vagues de chaleur sont observées de plus en plus tôt dans la saison, dès la mi-juin à l'échelle nationale (comme en 2005 ou en 2022) et aussi de plus en plus tard dans la saison, après le 15 août (depuis 2001). Dans une France à +2,7 °C (2050), les vagues de chaleur peuvent se produire à partir de début juin et durer jusqu'à mi-septembre. Dans une France à +4 °C (2100), elles peuvent apparaître dès la mi-mai et s'étendre jusqu'à fin septembre.

Or, les coûts de rénovation énergétique pèsent déjà lourd pour les collectivités, et les contraintes budgétaires les poussent à adopter à une « stratégie des petits pas ». Cette approche, bien que pragmatique à court terme, s'avère parfois plus coûteuse en définitive, et souvent moins efficace, qu'une rénovation globale. À cela s'ajoute l'incertitude liée à l'évolution climatique, face aux multiples scénarios d'évolution des températures sur le territoire. Il est donc difficile pour les collectivités de savoir comment adapter leur parc scolaire et comment prioriser les actions avec un budget contraint. Les collectivités s'interrogent : les solutions mises en œuvre aujourd'hui seront-elles toujours efficaces dans 10, 20, ou 50 ans ?

C'est pour guider les collectivités qui souhaitent agir rapidement et répondre aux surchauffes des écoles que ce rapport propose un état de l'art centré sur **des solutions à court et moyen termes (moins de 10 ans)**. Ce rapport se concentre sur les solutions directement mobilisables pour lutter contre la surchauffe dans les écoles. Il s'attache en particulier aux leviers d'action liés à l'usage des bâtiments et à la gestion active des équipements et systèmes, impliquant les usagers dans la mise en œuvre des actions proposées.

À l'inverse, ce rapport ne traite pas des interventions lourdes, comme l'isolation thermique complète du bâtiment. Bien qu'essentiels dans une stratégie globale à long terme, ces travaux nécessitent d'être dimensionnés selon les caractéristiques constructives de chaque école.

Enfin, si certaines mesures peuvent s'avérer efficaces dans le climat actuel, leur efficacité sera probablement réduite à l'avenir. Par exemple, le rafraîchissement nocturne, pertinent dans le climat actuel, devient inopérant en cas de vagues de chaleur prolongées, comme celles prévues à la fin du siècle, avec, dans certains cas, plus de 60 nuits consécutives au-dessus de 28 °C.

L'objectif de ce rapport est d'outiller les collectivités pour qu'elles puissent agir dès maintenant, de façon pragmatique, en priorisant des solutions compatibles avec leurs contraintes techniques et financières, tout en gardant à l'esprit la résilience nécessaire face à un climat en constante évolution.

Pour aller plus loin :

- *Le centre de ressources Creba réunit conseils et outils pour la réhabilitation des bâtiments anciens : <https://www.rehabilitation-bati-ancien.fr/>*
- *Le centre de ressources du bâti scolaire s'adresse aux collectivités, élus et services techniques, ainsi qu'aux acteurs accompagnant les collectivités. Fruit d'un travail partenarial qui réunit la Banque des Territoires, la Sasu FNCCR Actee, l'Ademe, le Cerema et avec le soutien du ministère de l'Éducation nationale et le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, cet outil contribue au déploiement du **Plan de rénovation des écoles** en diffusant **les outils méthodologiques et opérationnels pour mener des opérations exemplaires** qui allient efficacité énergétique et adaptation au changement climatique.*

1 LE RISQUE DE SURCHAUFFE DANS LES BATIMENTS SCOLAIRES

1.1 Contexte et perspective : chaleur et dérèglement climatique

Les 35 dernières années (1988-2023) ont connu une forte augmentation des épisodes de chaleur : elles ont été marquées par 7 fois plus de vagues de chaleur que les 35 années précédentes (1953-1987), et 4 fois plus de canicules annuelles en moyenne sur la dernière décennie (2013-2023) qu'entre 1980 et 1989.

Dans ce rapport, nous appelons « période de surchauffe » les phénomènes suivants qui ont des conséquences différentes en termes de confort :

- un pic de chaleur bref (une à deux journées) pendant lequel les températures dépassent les normales de saison ;
- un épisode prolongé, au cours duquel les normales de saison sont dépassées pendant plus de trois jours d'affilée ;
- une canicule, c'est-à-dire une période où les températures sont élevées de jour comme de nuit, pendant plus de trois jours consécutifs¹.

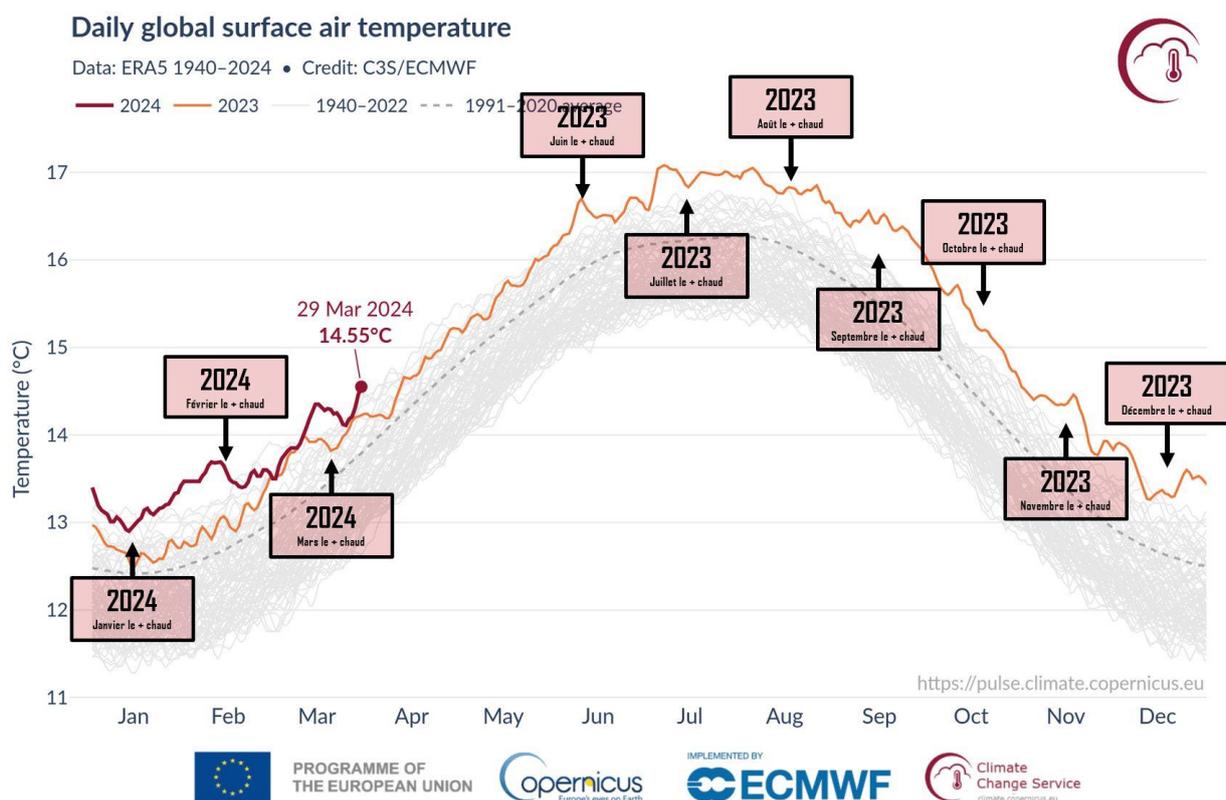


Figure 1 – Température quotidienne de l'air à la surface du globe (<https://pulse.climate.copernicus.eu/>) Crédits : C3S/ECMWF

En 2023, la France a défini sa Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (Tracc), qui fixe une cible commune d'adaptation. Dans ce cadre, Météo France joue un rôle clé en produisant des données et indicateurs climatiques décrivant le climat et ses aléas pour chacun des niveaux de réchauffement de cette trajectoire. La carte des températures moyennes estivales en France métropolitaine selon les scénarios pris en compte montre clairement que toutes les régions seront concernées par des hausses

1 Source : Météo France (<https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/comprendre-la-meteo/canicule-vague-ou-pic-de-chaleur>)

importantes. Aucune région ne sera épargnée par ces hausses de températures moyennes, même si, localement, la proximité de l’océan ou encore l’altitude peuvent atténuer le phénomène.

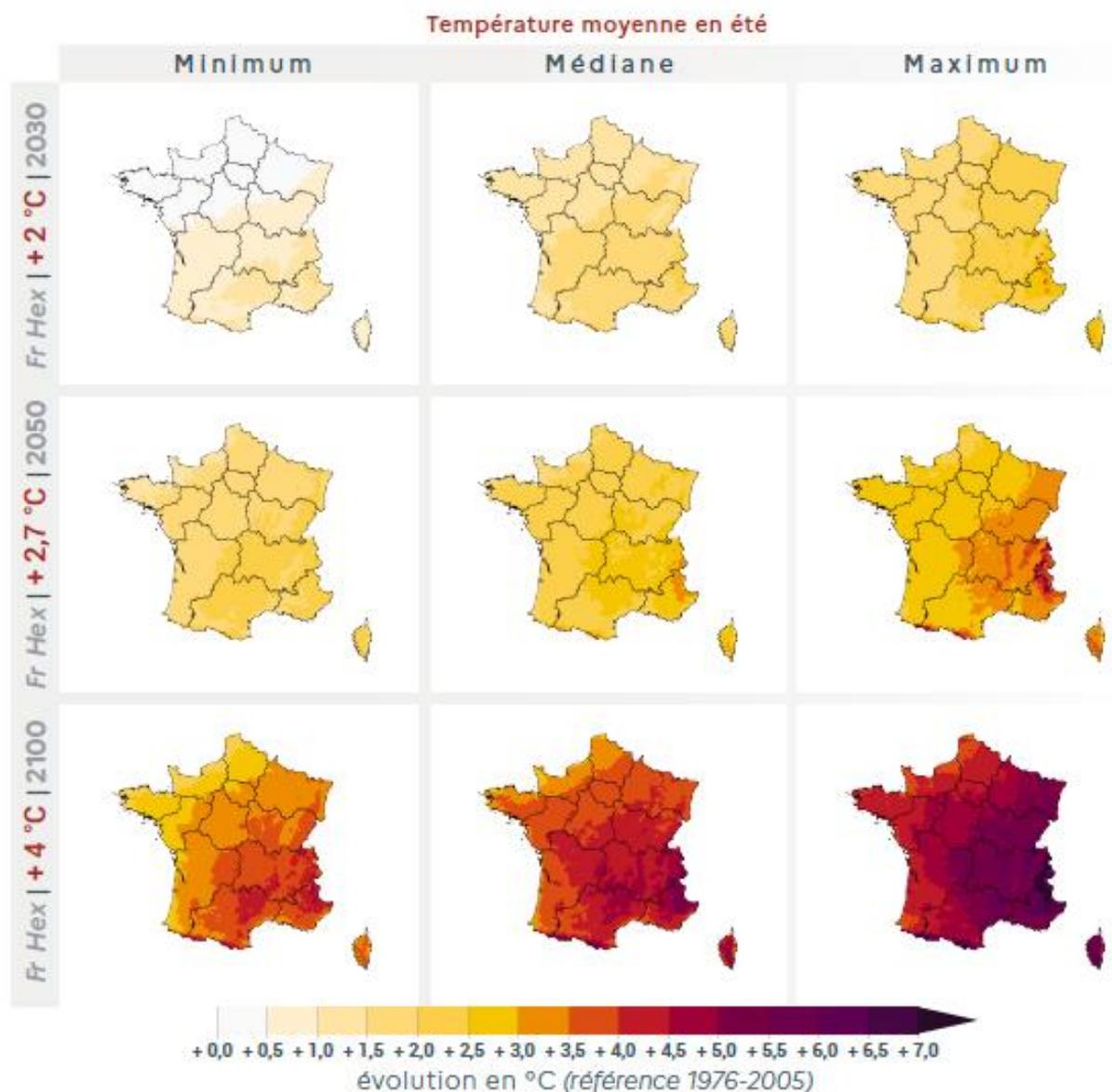


Figure 2 – Températures moyennes en été à échéance 2030, 2050 et 2100 – © Météo-France 2024²

Au-delà des tendances globales, les territoires sont inégalement exposés aux effets de la chaleur, en raison de leurs caractéristiques géographiques, urbaines et socio-économiques. L’un des phénomènes les plus marquants à l’échelle locale est celui des îlots de chaleur urbains (ICU), qui désignent les surchauffes localisées en milieu urbain dense par rapport aux zones rurales ou végétalisées voisines. Dans ces zones, les matériaux minéraux (béton, bitume), l’artificialisation des sols, la faible végétation et la configuration des espaces bâtis limitent la dissipation de la chaleur, aggravant ainsi les températures ressenties, notamment la nuit. Les établissements scolaires situés en cœur de ville ou dans des quartiers fortement minéralisés sont donc particulièrement concernés, cumulant souvent une forte exposition au rayonnement solaire, peu d’ombrage naturel, et des cours minérales qui stockent et réémettent la chaleur. Cette vulnérabilité est renforcée dans les communes où les marges de manœuvre financières et techniques pour adapter le bâti sont plus réduites.

² Carte située page 12 du rapport : Jean-Michel Soubeyroux, Brigitte Dubuisson, Sébastien Bernus, Raphaëlle Samacoïts, Fabienne Rousset, Michel Schneider, Agathe Drouin, Thumette Madec, Marc Tardy, Lola Corre (2024), « À quel climat s’adapter en France selon la Tracc ? », www.drias-climat.fr/

Dans les bâtiments, les conditions d'inconfort, voire de risques sanitaires liés à une surchauffe, dépendent fortement de leur conception. Sans recours à la climatisation, l'ambiance thermique des locaux repose sur un équilibre entre plusieurs facteurs, dont notamment :

- la résistance, l'inertie et le déphasage thermique des parois qui déterminent la capacité du bâtiment à ralentir le réchauffement et à lisser les variations de température entre le jour et la nuit ;
- la part de surfaces vitrées, leur orientation et leur protection qui influencent directement le taux d'apports solaires, ce qui conditionne l'ampleur des gains thermiques en période chaude ;
- la capacité à ventiler naturellement les locaux la nuit, grâce à des ouvertures suffisantes et bien positionnées, qui conditionne fortement l'évacuation de la chaleur accumulée dans la journée.

Jusque récemment, les canicules estivales avaient un impact limité sur les écoles, car elles avaient principalement lieu hors périodes scolaires, les établissements étant fermés aux élèves durant les deux mois les plus chauds de l'année. Cependant, avec le dérèglement climatique, les vagues de chaleur deviennent plus fréquentes, plus intenses et plus précoces ou plus tardives dans l'année, et ne se limitent plus à juillet et août. Le report du brevet des collèges en 2019 pour cause de canicule a marqué un tournant dans la prise de conscience publique. D'après Météo France, la période à risque de chaleur s'étendra de mai à octobre d'ici la fin du siècle.

« Ces vagues de chaleur ont mis en exergue, de façon brutale, la mauvaise adaptation de nombreux bâtiments scolaires aux fortes chaleurs : absence de volets ou de stores dans les salles de classe, impossibilité d'ouvrir les fenêtres, grandes verrières absorbant la chaleur, absence de préau ou d'espace ombragé dans la cour de récréation, îlot de chaleur créé par le revêtement du sol de la cour, renforçant la hausse des températures [...] certains bâtiments scolaires se révèlent peu adaptés au confort d'été malgré une date de construction relativement récente [...] »³.

Le rapport de la mission d'information du Sénat confirme que le bâti scolaire est inadapté aux fortes chaleurs. Au-delà des failles récurrentes pointées par ce rapport (absence de protections solaires, fenêtres non ouvrables, verrières surchauffantes, revêtements foncés), celui-ci souligne que **même des établissements construits récemment peuvent se révéler mal adaptés**.

Par ailleurs, au-delà des caractéristiques du bâtiment et de son environnement, **l'utilisation du bâtiment dans la gestion de la surchauffe aura un impact fondamentalement déterminant**. L'efficacité des protections solaires, l'aération manuelle (ou automatisée) pendant les périodes les plus fraîches, la ventilation nocturne dépendent autant de la conception que des pratiques. **Une utilisation optimale sera naturellement favorisée par des installations fonctionnelles, intuitives, adaptées aux habitudes et compétences des utilisateurs et/ou accompagnées des processus organisationnels favorisant la prise en main des équipements**.

³ Rapport d'information n° 800, Le bâti scolaire à l'épreuve de la transition écologique (2022-2023), déposé le 28 juin 2023, Sénat – <https://www.senat.fr/travaux-parlementaires/structures-temporaires/missions-dinformation-communes/mission-dinformation-sur-le-theme-le-bati-scolaire-a-lepreuve-de-la-transition-ecologique.html>

1.2 Comment définir l'inconfort d'été ?

L'inconfort d'été dans un espace intérieur peut être défini comme une situation où les individus ne bénéficient plus de conditions adaptées à son confort thermique : la température, l'humidité et la circulation de l'air ne leur permettent pas de se sentir à l'aise, avec un impact potentiel sur leur bien-être, leur concentration, leur sommeil ou leur santé.

La température de l'air ne suffit donc pas à définir le confort thermique puisque celui-ci résulte de l'interaction entre plusieurs facteurs liés à l'environnement extérieur et à l'individu. Les principaux paramètres influençant ce confort sont listés dans le tableau ci-dessous :

Facteurs environnementaux	Facteurs personnels
<ul style="list-style-type: none"> • La température de l'air • La température radiante (des surfaces à proximité) • L'humidité relative de l'air • La vitesse de l'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Les vêtements • L'activité physique • Le métabolisme de base⁴ • L'acclimatation • D'éventuels facteurs psychosociaux (état affectif, stress, bien-être, etc.) • L'état de santé (fatigue)

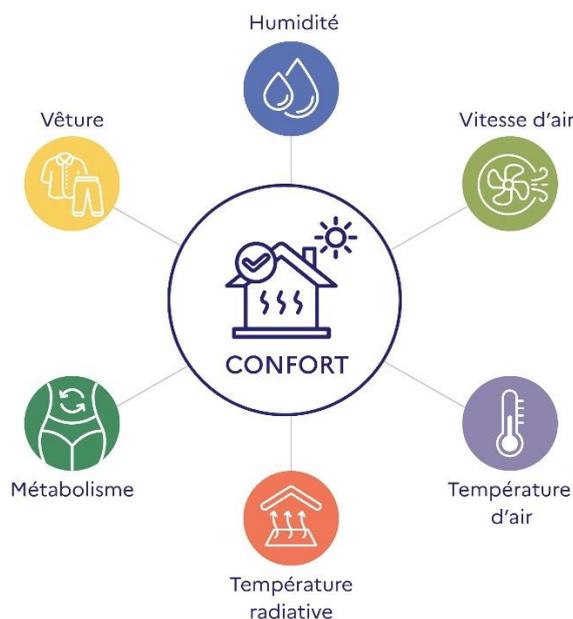


Figure 3 : Les facteurs influençant le confort thermique ©Cerema

Afin d'agir efficacement en faveur du confort thermique, en particulier durant les périodes chaudes, il convient donc de considérer l'ensemble de ces facteurs. Par exemple, une augmentation de la vitesse de l'air – par ventilation naturelle ou via des brasseurs d'air – peut suffire à rétablir une sensation de confort, sans qu'il soit nécessaire de diminuer la température de l'air. L'humidité joue également un rôle déterminant. Lorsque le taux d'humidité relatif dépasse 70 %, l'évaporation de la transpiration devient difficile, ce qui limite le principal

⁴ Le métabolisme correspond à la production de chaleur interne du corps humain pour le maintenir autour de 36,7 °C. Par rapport à un homme adulte de 70 kg, un enfant produit entre 20 % et 40 % de chaleur en moins. La production de chaleur est également liée au poids de l'individu.

mécanisme de régulation thermique du corps humain. Dans le cas où la température de l'air est également élevée, la sensation d'inconfort s'accroît, et le risque de surchauffe corporelle augmente.

Le corps humain est homéotherme, il régule sa température interne autour de 37 °C et cette stabilité thermique est essentielle au bon fonctionnement des organes vitaux. Une variation de température interne, même temporaire, peut avoir des impacts importants sur la santé : fatigue, trouble du sommeil, naissances prématurées, coup de chaleur, effets cardiovasculaires ou respiratoires sont des conséquences d'une exposition du corps à des températures trop élevées⁵. Cependant, la perception de l'inconfort thermique varie d'une personne à l'autre, selon l'âge, l'état de santé, l'activité physique, l'habillement ou encore les habitudes climatiques.

Le corps humain dispose d'une capacité d'adaptation, appelée acclimatation, qui permet à certains individus exposés régulièrement à des températures élevées de mieux tolérer la chaleur, grâce à un ajustement progressif de leur réponse physiologique. Elle se traduit par des ajustements physiologiques comme une transpiration plus efficace, une baisse de la température corporelle au repos, ou encore une diminution de la fréquence cardiaque. Cette adaptation peut se mettre en place sur quelques jours à quelques semaines, et elle est réversible si l'exposition à la chaleur cesse. Elle varie fortement selon les individus, leur état de santé, leur âge, leur hydratation et leur activité physique.

Le diagramme de Givoni

Le diagramme de Givoni est un outil graphique qui croise la température de l'air (axe horizontal) et l'humidité relative (axe vertical) pour identifier les zones de confort thermique. Il intègre l'évapotranspiration liée à la vitesse de l'air et permet de visualiser les plages de confort d'été dans un bâtiment sans système de rafraîchissement actif. Cela permet d'identifier les conditions dans lesquelles différentes stratégies passives (ventilation naturelle, augmentation de la vitesse de l'air avec des brasseurs d'air, humidification, déshumidification, etc.) sont efficaces pour maintenir le confort sans recourir à la climatisation. Ainsi, des brasseurs d'air disposés dans une salle de classe, de manière à obtenir en tout point une vitesse d'air supérieure à 0,5 m/s, peuvent permettre d'obtenir un ressenti de 27 °C pour une température mesurée de 30 °C.

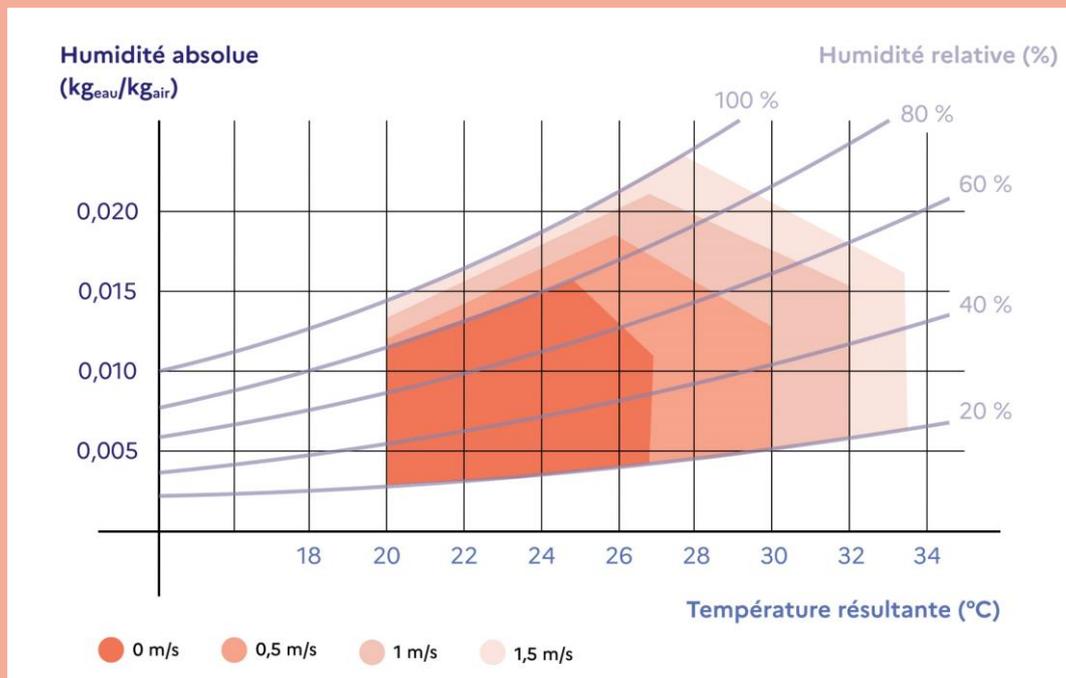


Figure 4 – Extension de la zone de confort thermique selon la vitesse de l'air. Source : Guide Brise 2025 – Adaptation ©Cerema

⁵ « Canicule : à quoi s'attendre et comment s'adapter ? », article à consulter sur : <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/dossiers-thematiques/impacts/canicule>

Des conventions techniques proposent des plages de température et d'humidité considérées comme favorables au confort thermique. Il convient toutefois de les considérer avec prudence, car elles ne reflètent pas toujours les différences individuelles ni les capacités d'adaptation.

1.3 Les effets de la chaleur sur les enfants⁶

Les écoles sont des lieux sensibles car elles accueillent majoritairement des enfants, plus vulnérables que les adultes aux fortes températures.

De plus, les salles de classe sont déjà des lieux qui présentent de nombreux apports de chaleur internes : un nombre important d'élèves dont le métabolisme produit de la chaleur (environ 80 W par élève), cumulée avec celle des équipements de la salle (éclairage, vidéoprojecteur, bureautique), dans des bâtiments peu adaptés, voire des pratiques inadaptées (ouverture des fenêtres même lorsqu'il fait plus chaud dehors que dedans).

L'équilibre thermique de l'enfant est différent de celui d'un adulte avec un rapport entre la surface corporelle et le poids plus important : le corps de l'enfant a plus d'échanges thermiques avec son environnement (par conduction, convection et rayonnement). En outre, il est plus difficile pour un enfant de se rafraîchir par sudation pour des raisons physiologiques.

Enfin, l'adaptation comportementale (comme ôter ou ajouter un vêtement selon la température, boire, s'humidifier le visage...) n'est pas appliquée spontanément par les enfants.

Conséquences de températures élevées

Les conséquences de l'exposition à des températures élevées peuvent être :

- **physiologiques**, avec fatigue, somnolence, céphalées... Dans les cas extrêmes d'hyperthermie, le corps n'arrive alors plus à réguler sa température interne, ce qui peut avoir des conséquences graves ;
- **respiratoires** en raison d'augmentation des émissions de polluants dans l'air provoquée par la chaleur (on retrouve notamment le formaldéhyde, irritant et cancérigène, dont les teneurs estivales peuvent être supérieures de 75 % aux valeurs hivernales) ;
- **cognitives** avec la diminution des performances, des études ayant montré une corrélation entre des températures élevées et une baisse de performance. D'autres facteurs entrent en compte comme les débits de ventilation, l'humidité, la durée d'exposition à la chaleur, l'adaptation du corps à la chaleur ou encore l'acclimatation (les personnes nées en climat tropical ont un meilleur fonctionnement physiologique qui leur permet d'optimiser leur fonctionnement cognitif).

Risque de l'exposition solaire dans les cours de récréation

L'exposition aux rayons ultraviolets UVA entraîne des risques cutanés (coups de soleil, cancers), oculaires (opacification du cristallin et dégénérescence de la rétine) et immunitaires. Les enfants sont particulièrement à risque du fait de leur âge.

Les cours, généralement goudronnées, constituent des zones de surchauffe urbaine. Une étude réalisée par une université canadienne située près de Toronto a ainsi mis en évidence :

- des températures de surface au soleil de plus de 52 °C pour une température d'air de près de 27 °C (d'après les données du satellite Landsat) ;
- une différence de 20 °C entre les surfaces ensoleillées et les surfaces ombragées ;

⁶ Pour présenter les effets de la chaleur sur les enfants, nous nous appuyons principalement sur les travaux de S. Déoux, « Impacts sanitaires des conditions climatiques des établissements scolaires sur le littoral de l'île de La Réunion », 2018-2019, lors desquels des mesures ont été réalisées dans des salles de classe.

- une proximité des enfants avec le sol qui accentue leur exposition à la chaleur : la température de l'air au niveau de la tête d'un enfant d'âge préscolaire est de 10 à 15 °C supérieure à celle au niveau de la tête d'un adulte !

Selon une étude canadienne⁷, la température engendrée par la cour et ses revêtements s'exporte dans le voisinage. L'étude évoque ainsi une « **pollution thermique** » **qui s'observe jusqu'à 150 mètres de la cour d'école, avec un effet important sur les 80 premiers mètres. Les surfaces non végétalisées, comme les cours d'école, contribuent donc significativement à l'îlot de chaleur urbain.**

Cet îlot de chaleur urbain contribue par ailleurs au phénomène de pollution atmosphérique appelé « smog », en raison de la quantité accrue de polluants libérés en présence de chaleur et des réactions qui ont lieu entre ces polluants.

Des solutions en lien avec les cours d'école sont présentées dans la partie 3.2 de ce document, sur les espaces extérieurs.

⁷ Carol Moogk-Soulis , « Schoolyard Heat Islands: A Case Study in Waterloo », Ontario – <https://www.moogk-soulis.com/wp-content/uploads/2011/05/Moogk-Soulis.pdf>

2 DIAGNOSTIQUER LA SURCHAUFFE POUR DEFINIR UNE STRATEGIE D'ACTION

Quelle que soit la taille du parc scolaire de la collectivité, il est nécessaire d'établir une stratégie pour savoir où agir en priorité et à quel niveau, tout en prenant en compte les autres enjeux. Pour cela, une analyse d'ensemble peut être réalisée (2.1) avant de réaliser des diagnostics plus précis et opérationnels sur les bâtiments les plus critiques (2.2).

2.1 À l'échelle d'un parc immobilier scolaire : connaître la vulnérabilité à la chaleur pour prioriser les investissements

Qu'est-ce que la vulnérabilité d'un bâtiment au changement climatique ?

La vulnérabilité d'un bâtiment au changement climatique se définit comme la propension du bâtiment à subir des impacts négatifs dus aux aléas climatiques, au regard de ses caractéristiques techniques, de son usage et de sa localisation.

Les communes sont propriétaires d'un parc important d'écoles. Dès lors, une bonne utilisation des budgets nécessite de prioriser les interventions. Pour cela, une fine connaissance du parc est indispensable afin de repérer les bâtiments les plus problématiques et établir une stratégie.

S'agissant dans certains cas de parcs considérables, une analyse multicritère des bâtiments est recommandée afin d'établir une stratégie de priorisation d'intervention à l'échelle du parc. Les critères pris en compte peuvent concerner la fonctionnalité du bâtiment, le respect de la réglementation, ses consommations énergétiques, la pertinence des usages, sa capacité d'adaptation, etc. Pour être réellement efficace et cohérente, cette stratégie d'intervention sur le parc s'accompagne d'une stratégie d'intervention sur les cours d'école (désimperméabilisation, plantations...), voire sur les abords de l'école (lutte contre les îlots de chaleur urbains).

Comme toute démarche de gestion de patrimoine immobilier, la première étape consiste à **s'organiser**. Le responsable en charge de la gestion patrimoniale doit disposer des compétences pluridisciplinaires (techniques, réglementaires, juridiques, financières, etc.) ou se faire accompagner par des compétences externes et impliquer les élus au processus de décision. La gestion des cours d'école ou des espaces publics étant assurée par d'autres services, une organisation transversale est à trouver pour apporter une réponse globale.

Ensuite, il est nécessaire que le maître d'ouvrage **connaisse bien son patrimoine scolaire**. Cela passe d'abord par le recensement des bâtiments afin d'en connaître les statuts et principales caractéristiques (nombre, surface, année de construction ou d'intervention, type de travaux réalisés, etc.). À l'échelle d'un grand parc immobilier, il n'est pas possible d'avoir une analyse fine de la sensibilité de chaque bâtiment à l'inconfort d'été. **Il sera donc nécessaire de créer des indicateurs basés sur des données disponibles ou facilement accessibles⁸. Les photos aériennes** permettent par exemple de connaître l'orientation du bâtiment par rapport à la course solaire et les masques (présence d'arbres, de bâtiments hauts...). Exploiter **les données existantes des capteurs thermiques des chaufferies** est une autre piste intéressante. En effet, ces sondes intérieures et extérieures de températures destinées à réguler le chauffage sont opérantes également en saison chaude. L'exploitation de ces données est très pertinente à l'échelle d'un patrimoine pour commencer à classer les bâtiments d'une même typologie.

⁸ La Base de données nationale des bâtiments (BDNB) permet de récupérer des données (masques solaires, linéaires et orientations...) : <https://bdnb.io/>

Coopération du premier plan d'Adaptation des bâtiments au climat dérégulé (ABCD) pour le conseil départemental du Val-de-Marne.

Ce plan d'adaptation portait sur l'ensemble du patrimoine immobilier du conseil départemental (580 bâtiments), dont le patrimoine scolaire (collèges) et les crèches. En utilisant des projections climatiques, le Cerema a caractérisé les aléas futurs et les risques pour les bâtiments. Un plan d'action et un outil de suivi et d'évaluation de ce dernier ont ainsi été élaborés.

Ce plan vise par des mesures adaptatives à limiter les effets négatifs des aléas suivants (choix réalisé avec le conseil départemental) : espèces invasives, fortes pluies, grand froid, grand vent, canicule, retrait gonflement des argiles (RGA), neige, inondations.

Sur la question de la canicule, chaque bâtiment reçoit une **note liée à sa sensibilité à la surchauffe**, prenant en compte ses caractéristiques techniques (performance de l'isolation et des menuiseries, présence de protection solaire, performance de la ventilation, présence de verrières, possibilité d'ouvrir les fenêtres...), mais aussi son environnement (minéralisé ou végétalisé, masques solaires, îlot de chaleur urbain) et ses apports internes (du fait de la densité de personnes et du type d'équipements utilisés, les apports internes d'un collège sont plus élevés qu'un bâtiment de bureau ou une crèche).

À la suite de cette première mission, d'autres conseils départementaux ont sollicité le Cerema, qui a ainsi pu développer sa méthode dite « ABCD ». Celle-ci présente l'avantage d'être rapide, car elle s'appuie sur des données simples à la portée d'un non-professionnel, et ne requiert pas de métrés comme les outils de calcul utilisés en maîtrise d'œuvre.



Figure 5 – Collège Jules-Ferry à Maisons-Alfort (94) – ©Cerema

Il est possible également de récolter des données liées à l'usage en réalisant une enquête auprès des utilisateurs pour évaluer le confort, ou encore en recensant les plaintes sur le sujet.

Finalement, sans se déplacer physiquement, il est possible d'obtenir une première analyse sur un parc immobilier et de cibler les bâtiments où il sera prioritaire d'intervenir.

Toutefois, **une visite reste pertinente** pour un échantillon de bâtiments afin d'identifier des typologies caractéristiques, vérifier des écarts entre les mesures et les approches de caractérisation simplifiée, ou identifier les actions types d'amélioration qui seront globalement à développer. Ces visites peuvent aussi cibler les

bâtiments à enjeu fort ou à risque avéré au regard de leur vulnérabilité, de leur exposition, ou du signalement par les occupants.

Une fois l'état des lieux réalisé, il est possible de **définir le périmètre d'actions** en priorisant les bâtiments sur lesquels intervenir en pondérant différents critères d'analyse (taux d'inconfort ressenti, périodes d'inconfort, facilité d'intervention et coût de l'intervention, etc.).

Dans le cadre d'une stratégie patrimoniale, il est important de **définir les objectifs à l'échelle du parc dans un premier temps** et de les décliner par bâtiment dans un second temps afin de pouvoir mettre en application les actions concrètement et assurer leur suivi.

2.2 À l'échelle d'un bâtiment : choisir des méthodes de diagnostic adaptées à l'intention

Il n'y a pas de méthode unique pour réaliser un diagnostic de la vulnérabilité d'un bâtiment ou d'un site scolaire à l'inconfort d'été. Le choix se réalise en fonction des moyens de la collectivité, du niveau de vulnérabilité pré-identifié, des ambitions en termes de travaux...

Quelle que soit la méthode choisie, une visite de terrain et un échange avec les occupants des bâtiments se révèlent indispensables au diagnostic.

La visite terrain : indispensable pour tout diagnostic

Alors que les conditions de confort en hiver sont souvent assez homogènes à l'intérieur d'un même bâtiment, les surchauffes lors de vagues de chaleur affectent plus particulièrement certains locaux très exposés (par exemple par l'absence de protection solaire ou la présence d'un puits de lumière). Une visite des locaux est donc très pertinente dans le cadre d'un diagnostic météo chaude et permet de vérifier si ce qui a pu être observé sur une photo aérienne est bien réel. Par exemple, la coupe d'un arbre de haute tige ou au contraire la construction d'un immeuble créant un nouveau masque solaire peut faire évoluer une situation.

Les déplacements in situ permettent également de vérifier certains points techniques sur l'enveloppe, les équipements et l'environnement qui n'apparaissent pas systématiquement dans les bases de données et les photos aériennes. Ces visites créent une occasion de discuter des usages avec les utilisateurs (direction de l'établissement, personnel enseignant, personnel de ménage, etc.).

L'outil « toile d'araignée du confort d'été » du Cerema

L'objectif est de déterminer, essentiellement à dire d'expert par observation et discussion avec les occupants, le potentiel de chacun des six axes d'action en attribuant une note de 1 à 8 :

- la capacité de décharge et de rafraîchissement nocturne prenant en compte l'environnement urbain ;
- l'enveloppe et la structure du bâti : inertie, isolation verticale, isolation des combles et des toitures, type de plancher... ;
- l'efficacité des protections solaires et des vitrages (dont la présence de masques solaires urbains ou végétaux) ;
- l'environnement (parcelle et quartier) : îlot de chaleur urbain avéré, degré de minéralisation de la parcelle... ;
- l'équipement des salles de classe : VMC double-flux, ventilateurs sur pieds, brasseurs d'air, géocooling, puits climatique, CTA adiabatique, climatisation... ;
- l'adaptation des usages : du code vestimentaire, des horaires de cours...

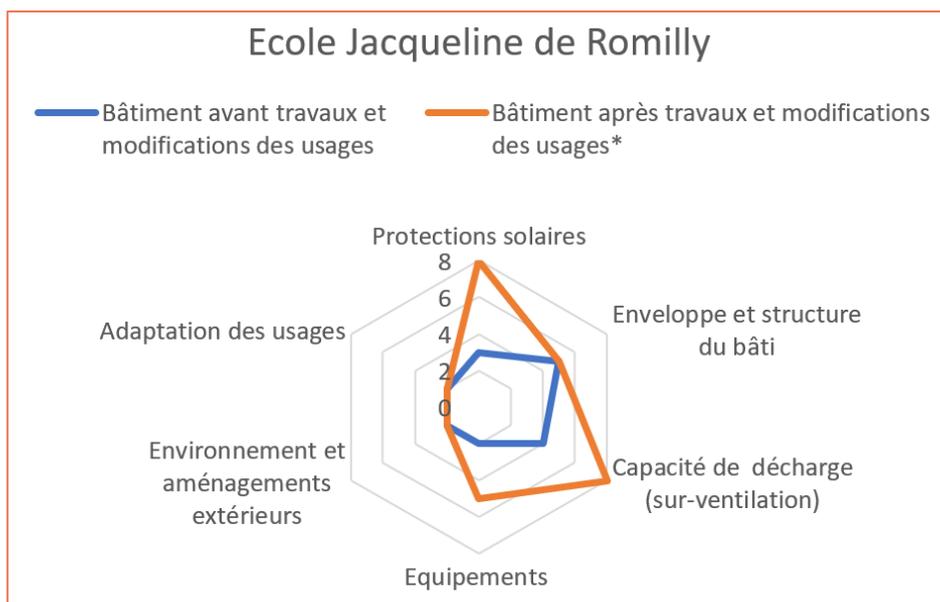


Figure 6 – Outil « toile d'araignée du confort d'été » du Cerema

Cet outil, très visuel, permet au maître d'ouvrage d'obtenir une caractérisation de ses écoles et des marges de manœuvre, et de voir la progression après la mise en œuvre d'actions.

Cet accompagnement a été déployé sur 39 bâtiments auprès de collectivités des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie.

Mêler instrumentation technique et retour des occupants

Lors de la réalisation d'un diagnostic, il est intéressant de recueillir des informations objectives permettant de qualifier le problème de surchauffe du bâtiment en réalisant une campagne de mesures des températures, du CO₂ (indicateur de confinement), de l'humidité... Il s'agira de choisir et de déposer les capteurs pour avoir une idée plus précise des conditions de confort thermique avec des moyens techniques et humains raisonnables (échantillonnage indispensable).

Pour cela, il est pertinent de s'appuyer sur les retours du gestionnaire qui centralise les plaintes et les demandes des utilisateurs, mais aussi de questionner les occupants eux-mêmes (administration, corps enseignants, élèves et parents d'élèves...). Des enquêtes « confort d'été » peuvent ainsi être réalisées auprès des occupants (enseignants, animateurs périscolaire, personnel de cantine...). Il est recommandé de concevoir des questionnaires courts pour améliorer le taux de remplissage et de réponses. Ces enquêtes peuvent compléter le diagnostic, voire le guider en mettant en avant les « situations délicates » à objectiver par une visite ou des mesures.

De la même façon, les mesures qui sont réalisées dans les locaux d'une école font l'objet d'une analyse plus juste lorsqu'une enquête sur les pratiques est effectuée en parallèle, en demandant aux occupants d'indiquer leur localisation (numéro de classe). Cela permet d'expliquer les résultats : si l'occupant a ouvert la fenêtre, s'il a utilisé un climatiseur, s'il a manipulé les occultations solaires... Les actions de l'occupant ont un impact sur les mesures.

L'implication des élèves au diagnostic de leur établissement scolaire est intéressante sur le plan pédagogique. Ainsi, dans le cadre du programme de



Manipulation d'une caméra thermique avec des élèves ©Cerema

sobriété CUBE.S bénéficiant aux collèges et lycées, le Cerema a imaginé un outil pédagogique intitulé « diagnostic participatif ». Cet outil permet aux enseignants de réaliser un diagnostic avec leurs élèves. À l'aide d'une grille d'enquête, ces derniers peuvent par exemple interviewer des élèves d'autres classes, des enseignants, ou encore le personnel administratif sur leur sensation de confort. Des activités utilisant des instruments de mesure et des idées d'expérience visant à diagnostiquer le confort et trouver des idées d'actions sont également proposées. Par exemple, une expérience vise à mesurer l'impact de l'utilisation des occultations solaires sur la température d'une pièce.

Votre perception du confort thermique

Trop chaude		Un peu chaude		Toujours agréable		Un peu fraîche		Trop fraîche	
Précisez les lieux qui vous semblent trop frais :					Précisez les lieux qui vous semblent trop chauds :				
Les salles de classe		Les salles de permanence			Les salles de classe		Les salles de permanence		
Le CDI		Le hall et/ou les circulations			Le CDI		Le hall et/ou les circulations		
Le réfectoire					Le réfectoire				
Autre, précisez :					Autre, précisez :				
Précisez l'exposition des salles (nord, sud...) et leur localisation (bâtiment ou étage particulier)					Précisez l'exposition des salles (nord, sud...) et leur localisation (bâtiment ou étage particulier)				
.....								
.....								
.....								
A quelle période (mois concernés) ?					A quelle période (mois concernés) ?				
A quel moment plus particulièrement ?					A quel moment plus particulièrement ?				
Le matin		Le midi		L'après-midi	Le matin		Le midi		L'après-midi

Figure 7 – Extrait du cahier de diagnostic CUBE.S – enquête confort

Une simulation thermique dynamique pour les projets ambitieux

La simulation thermique dynamique (STD) est un outil de conception visant à modéliser, avec un logiciel agréé, au plus proche de la réalité, le fonctionnement du bâtiment. Elle permet notamment d'estimer la consommation d'énergie et la température intérieure d'un bâtiment. Une rénovation complète (enveloppes, protections solaires, équipements) doit être appuyée et confirmée par des simulations thermiques dynamiques dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre ou d'AMO.

Un calcul thermique par STD nécessite de disposer des données techniques complètes sur l'ouvrage (plans, matériaux d'enveloppe, inertie, types de surfaces vitrées, équipements techniques, scénarios et hypothèses d'occupation) afin de créer un modèle numérique du bâtiment.

La STD est donc un outil plutôt réservé à des projets ambitieux (rénovation globale, bâtiments importants par leur surface ou symboliques). Cet outil est intéressant pour tester des solutions et les impacts attendus, y compris en termes d'usage (cf. : retour d'expérience Infoma).

Infoma à Corbas (69) : diagnostic global intégrant l'évaluation du confort d'été et des pistes d'amélioration

Le Cerema a accompagné l'Institut national de formation des personnels du ministère de l'Agriculture (Infoma) pour la planification de ses projets de rénovation au cours de l'été 2024. Dans ce cadre, un diagnostic global des bâtiments intégrant l'évaluation du confort estival a été réalisé afin de proposer des recommandations qui permettront d'améliorer le bien-être des usagers et utilisateurs de l'établissement.

La réalisation du diagnostic englobe une étude documentaire du bâtiment (plans, consommations, audits déjà existants) ainsi qu'une visite sur site et une enquête auprès des occupants afin de connaître leurs ressentis en termes d'usage et de confort dans le bâtiment. Le diagnostic a été complété par des mesures de température, humidité et dioxyde de carbone dans les zones identifiées préalablement comme inconfortables et par un relevé de l'ensoleillement des façades.

Ce travail a permis de confirmer la situation de surchauffe des bâtiments de l'Infoma avec une température en moyenne de 28 °C, qui peut atteindre 35 °C dans certaines zones.

Une simulation thermique dynamique a ensuite été réalisée pour mesurer l'impact de différentes solutions d'adaptation : l'isolation renforcée, les films solaires et casquettes, la surventilation nocturne par le système de ventilation en place, les brasseurs d'air, le masque végétal, et les horaires décalés.

Cette simulation souligne l'impact particulier des brasseurs d'air et des horaires décalés pour lutter contre l'inconfort, mais elle met surtout en valeur l'importance de combiner différentes solutions pour agir le plus significativement en faveur du bien-être des occupants tout en limitant l'usage de la climatisation.

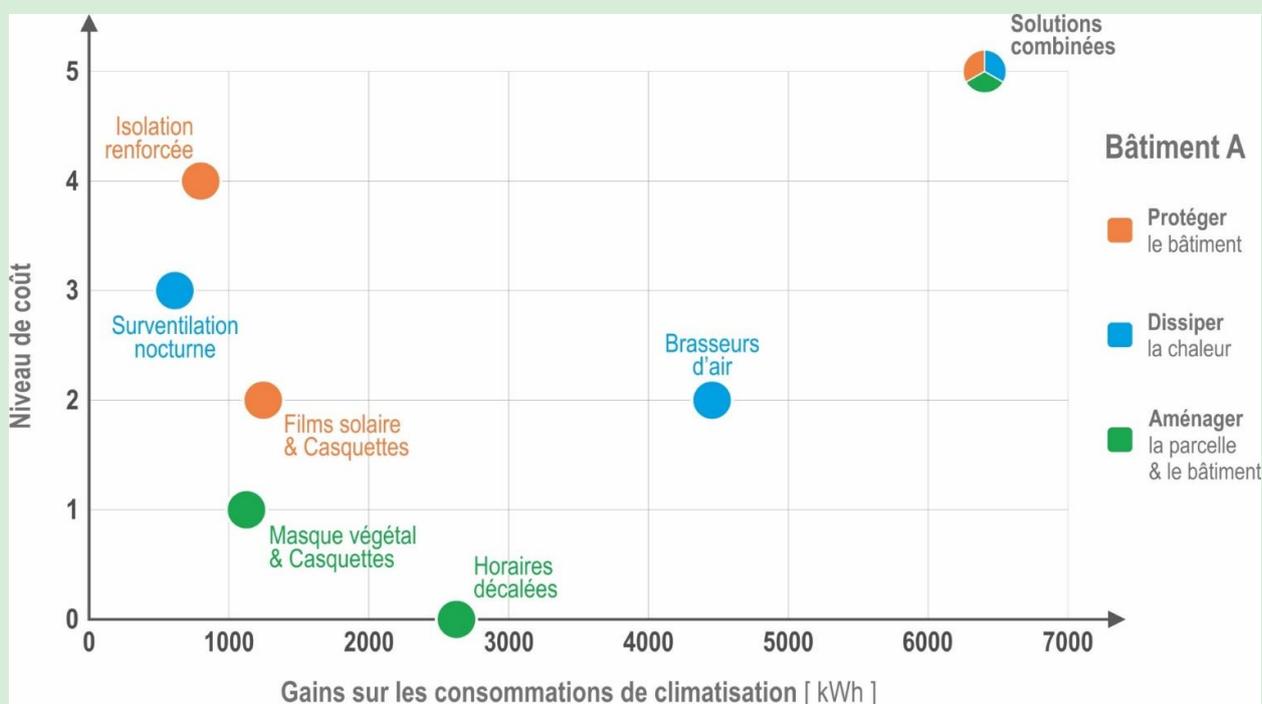


Figure 8 – Graphique issu de l'étude Infoma – ©Cerema

Les simulations solaires à l'échelle d'un bâtiment

Les protections solaires qui permettent de limiter les apports solaires en période de météo chaude représentent un levier essentiel du confort d'été, tout en préservant les apports solaires en hiver.

Des logiciels ou des abaques permettent de dimensionner ces protections solaires avec une approche simplifiée (et donc moins onéreuse) qu'une STD.

Ainsi, le Cerema met à disposition des concepteurs ou des maîtres d'ouvrages un outil simple d'utilisation (l'outil de calcul des coefficients de masques), qui permet d'obtenir l'impact de la protection en termes de chaleur reçue en été comme en période de chauffe. Il s'appuie sur une simulation des facteurs solaires des menuiseries en fonction de la protection solaire extérieure fixe prévue et des masques lointains.

D'autres outils permettent une représentation visuelle de l'effet de masque.

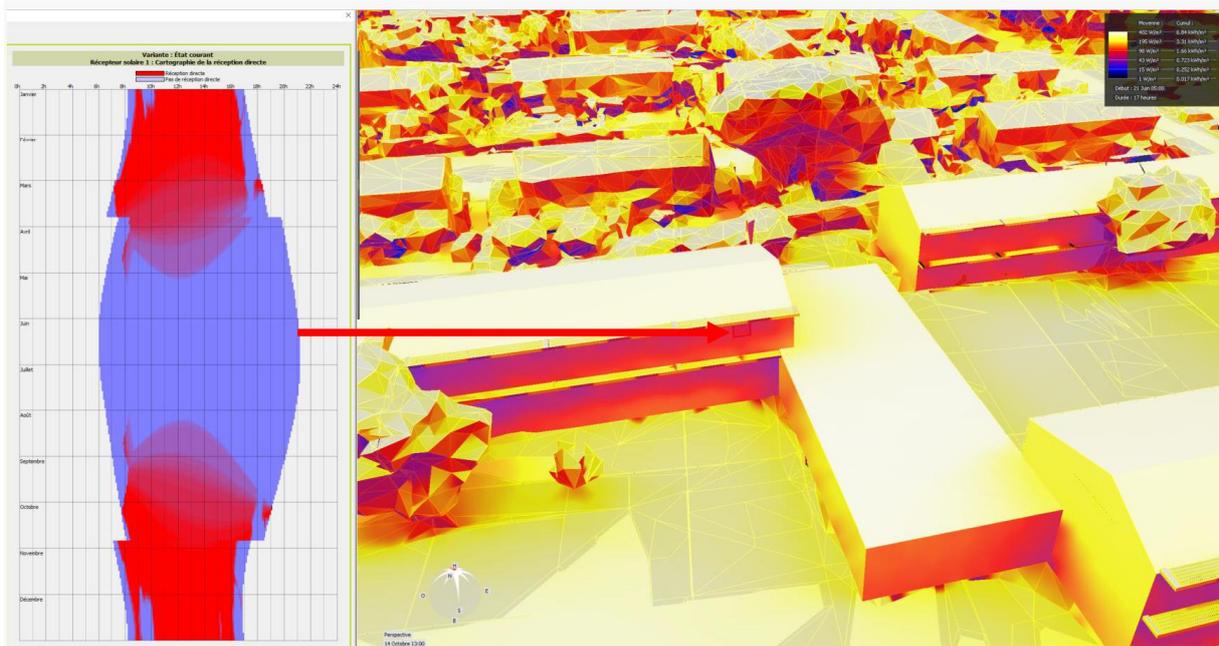


Figure 9 – Simulation solaire de l'école Trillades à Avignon dans le cadre de l'Appel à manifestation d'intérêt « Canicule dans les bâtiments publics » – ©Cerema

3 DEFINIR UNE STRATEGIE ET METTRE EN PLACE DES ACTIONS A COURT ET MOYEN TERMES

3.1 Mettre en place des stratégies d'intervention basées sur les principes du bioclimatisme

Selon les principes du bioclimatisme, trois grands axes thématiques permettent d'éviter ou de limiter la surchauffe des bâtiments et l'inconfort thermique à l'intérieur des bâtiments existants :

- **aménager la parcelle afin d'améliorer l'ambiance thermique extérieure** : végétalisation, perméabilité et couleur des revêtements de sol pour éviter les surchauffes ;
- **protéger le bâtiment du rayonnement solaire** : les vitrages avec des protections solaires extérieures, mais aussi les façades et les toitures ;
- **dissiper la chaleur** : aération nocturne par ouverture des ouvrants, surventilation, brasseurs d'air pour améliorer la sensation de confort, choix d'un matériel électrique performant pour éviter les apports de chaleur interne inutiles...

Une fois que ces trois leviers d'action ont été mis en œuvre, des équipements de rafraîchissement peuvent être installés et, en dernier lieu, la climatisation.

Le rapport développera ces leviers de manière plus détaillée.

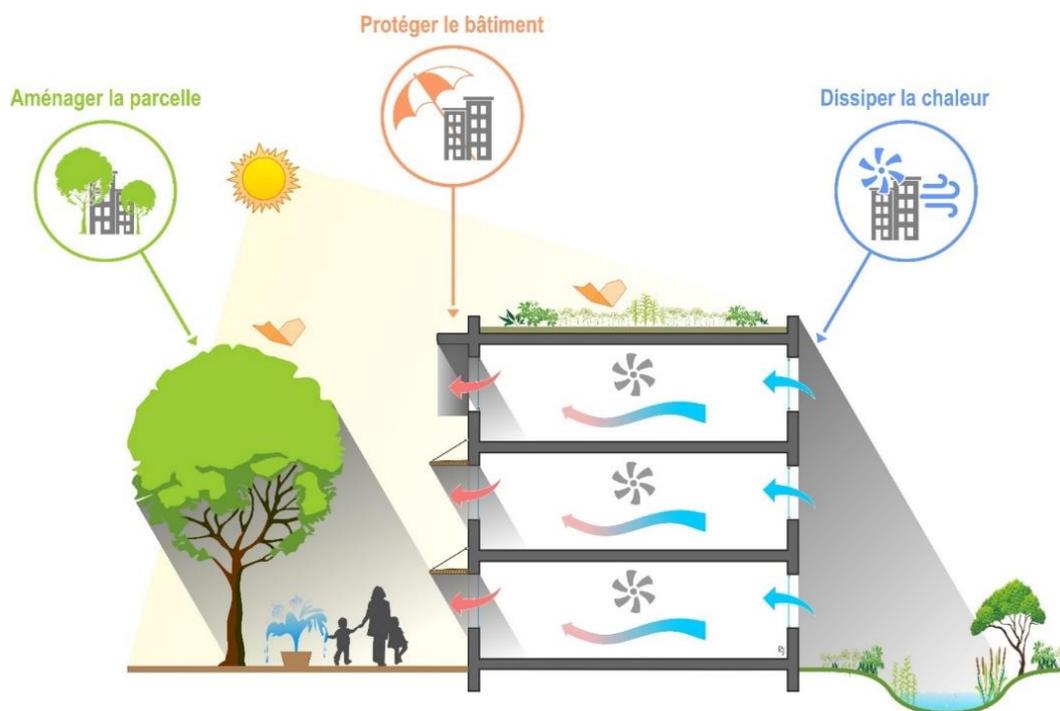


Figure 10 – Synthèse des actions pour limiter la surchauffe des bâtiments – ©Cerema Centre-Est, Romuald Jobert)

La stratégie bioclimatique du conseil départemental de l'Hérault sur son patrimoine scolaire (CD34)

En 2021, le conseil départemental gère 79 collèges. Ne pouvant agir sur l'ensemble de ses collèges, la stratégie développée par le CD34 est de traiter de manière globale quelques collèges, et de réaliser d'autres opérations élément par élément. Mais dans les deux cas, la réflexion est globale et repose sur les principes du bioclimatisme :

- en premier lieu, réduire la surchauffe urbaine en aménageant les espaces extérieurs, occulter le rayonnement solaire (dans les CCTP pour les rénovations, indication d'un objectif de résultat : aucun rayon solaire incident sur une surface vitrée de la fin mai à la mi-septembre) ;
- améliorer la qualité de l'enveloppe tout en veillant à l'efficacité de la ventilation pour décharger la chaleur nocturne ;
- et enfin, en dernier lieu, prévoir le rafraîchissement avec de la frigorifique active en privilégiant le renouvelable via la géothermie. Si cette solution n'est pas possible, de petites pompes à chaleur réversibles sont installées dans les CTA.

Exemple d'opération globale : le collège du Crès (projet pilote : premier collège à énergie positive de l'Hérault)

Le conseil départemental a lancé un Contrat de performance énergétique pour réhabiliter le collège du Crès, datant du milieu des années soixante et n'ayant pas bénéficié de travaux depuis sa construction.

Un des sous-objectifs de cette rénovation est le confort d'été : la maîtrise d'ouvrage demande un engagement ne pas dépasser 28° en période d'occupation sur la base d'une simulation énergétique.

Selon les principes du bioclimatisme, les actions suivantes ont été réalisées :

- réaménagement des espaces extérieurs ;
- mise en place d'occultations solaires optimisées via la réalisation d'un héliodon, sous forme de brise-soleil fixes sur les surfaces est, ouest, sud ;
- reprise de toute l'enveloppe extérieure pour éviter l'inconfort d'hiver et d'été ;
- création d'un système de ventilation mécanisé pour toutes les salles de classe et tous les locaux administratifs ;
- installation de sondes géothermiques, enterrées à 150 mètres dans le sol afin de récupérer les calories du sol l'hiver et les frigorifiques du sol l'été pour chauffer et rafraîchir le collège via une pompe à chaleur.

Exemple d'opération réalisée élément par élément : le collège Villeneuve-les-Maguelone

L'intervention s'est d'abord centrée sur les occultations pour couper le rayon solaire incident de la mi-mai à la mi-septembre, puis sur la ventilation (intégration de pompes à chaleur dans la CTA afin de souffler de l'air frais en période d'inconfort d'été).

Agir en urgence : avec quelles actions ?

Beaucoup de collectivités ont dû réagir dans l'urgence à un phénomène de canicule et de surchauffe des bâtiments scolaires. En effet, il y a une dizaine d'années, les mois de mai, juin et septembre n'étaient pas vraiment concernés par des épisodes de canicule longue.

Face au temps long nécessaire à la mise en œuvre d'une rénovation et aux problèmes de santé potentiellement graves que peut engendrer un épisode de canicule auprès d'un public de jeunes enfants, des solutions d'urgence et parfois dérogoires aux principes habituels de gestion sont à mettre en place. De la même façon, des bâtiments scolaires destinés à être démolis dans quelques années peuvent nécessiter la mise en œuvre d'actions d'attente nécessaires au confort immédiat des occupants : la pose de films solaires sur les vitrages, les peintures réfléchissantes (efficaces sur des bâtiments peu isolés), les voilages à installer dans la cour d'école, l'adaptation temporaire des horaires, voire des solutions encore plus provisoires comme le badigeonnage de blanc de Meudon sur les vitres...

Toutes ces actions seront décrites dans la partie suivante.

Agir en urgence : retour d'expérience de l'appel à partenariat « Diagnostic canicule de bâtiments publics » lancé par le Cerema en 2024 auprès des collectivités

Des collectivités des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie ont ainsi bénéficié d'un accompagnement sur leurs écoles afin de trouver des solutions de moyen et court termes. Des solutions temporaires d'urgence ont ainsi pu être préconisées. Une feuille de route spécifique donne mandat aux utilisateurs et gestionnaires de bâtiments pour déroger aux règles habituelles en vigueur le reste de l'année. Celle-ci vise à faciliter l'adaptation rapide et flexible de ces bâtiments aux conditions extrêmes en autorisant des actions temporaires et souvent inédites. Par exemple, elle pourrait permettre de modifier les horaires d'ouverture, de restreindre l'accès à certaines zones, ou d'utiliser des équipements supplémentaires comme des ventilateurs ou des brumisateurs, même si ceux-ci ne sont pas habituellement autorisés. D'autres actions plus inédites ont été testées : mise en place de couvertures solaires sur les vitrages les plus exposés, aération nocturne nécessitant d'arrêter l'alarme anti-intrusion de manière dérogoire, ou encore d'utiliser les ouvrants de désenfumage⁹...



Figure 11 – Verrière d'une école maternelle à Avignon – ©Cerema

⁹ Pour ce double usage, il est impératif de préserver la priorité à la sécurité incendie en garantissant que l'ouverture des exutoires reste entièrement pilotée par le SSI (Système de sécurité incendie) en cas d'alarme, de s'assurer que le matériel est conçu et certifié (ex. : norme EN 12101-2) pour résister à des manœuvres fréquentes, de faire valider l'exploitation « confort » par la Commission de sécurité ou le SDIS le cas échéant, et enfin de renforcer la maintenance pour maintenir en permanence l'efficacité de la fonction désenfumage. Dans ces conditions, la surventilation nocturne via les ouvrants de désenfumage peut constituer une solution de rafraîchissement passif efficace, sans compromettre la sécurité incendie du bâtiment.

3.2 Aménager les extérieurs des écoles en privilégiant les solutions d'adaptation fondées sur la nature

Les cours d'école sont généralement des espaces bitumés, parfois avec quelques espaces résiduels de végétation et, dans le meilleur cas, des arbres de haute tige (par exemple des platanes). Ce modèle a longtemps été plébiscité, car il permet un entretien simple et peu coûteux.

Cependant, les enjeux de surchauffe urbaine poussent les collectivités à engager une réflexion sur ces espaces, avec des projets de végétalisation et de désimperméabilisation des cours d'école. Les enjeux liés au réaménagement des cours sont toutefois bien plus vastes :

- enjeux éducatifs et d'inclusion : des espaces diversifiés favorisent l'autonomie, la sociabilisation et la créativité des enfants, tout en répondant aux besoins d'un maximum d'enfants (quels que soient leur sexe, leur capacité physique ou leur état émotionnel...);
- enjeux environnementaux : gestion des eaux pluviales, biodiversité...

Améliorer le confort thermique dans les cours d'école participe à atténuer le phénomène de surchauffe urbaine et contribue à un meilleur confort dans les bâtiments.

Désimperméabiliser les cours d'école

Les enrobés bitumineux ont longtemps été utilisés pour aménager les cours d'école. Généralement de couleur sombre, ces surfaces imperméables emmagasinent la chaleur lorsqu'elles sont exposées au soleil et la restituent ensuite à tout ce qui se trouve à proximité (bâtiments et personnes). Cela contribue au phénomène d'îlot de chaleur urbain (températures plus élevées en milieu urbain que dans les zones rurales environnantes).

La couleur du revêtement a également un impact sur la quantité de chaleur stockée. On parle ainsi d'albédo, pour définir le pouvoir réfléchissant d'un sol. Un revêtement clair aura un albédo élevé, ce qui contribuera à réduire la température du sol, tandis qu'un revêtement plus foncé aura un albédo faible et absorbera davantage le rayonnement solaire. Toutefois, un revêtement trop clair peut éblouir et rendre la cour inconfortable.

La réduction de cet effet de surchauffe passe par la suppression de la couverture imperméable qui recouvre les sols : on parle de désimperméabilisation ou de descellement¹⁰.

La désimperméabilisation des sols répond à plusieurs objectifs d'adaptation au changement climatique. Elle contribue à :

- une meilleure gestion de l'eau : réduction du risque inondation en favorisant la pénétration de l'eau dans le sol et en limitant le ruissellement, réduction des débordements de réseaux dans les milieux aquatiques ;
- une préservation des ressources naturelles (eau, sol) en évitant que l'eau de pluie, en ruisselant, ne se charge en polluants, et en permettant la recharge des nappes phréatiques ;
- une réintroduction de la nature en ville participant à l'embellissement du cadre de vie et en favorisant la biodiversité ;
- la réactivation de l'activité biologique du sol participant au stockage de carbone ;
- une diminution de l'effet d'îlot de chaleur urbain ;

Lorsqu'une cour d'école est désimperméabilisée, plusieurs types de sols pourront être envisagés en fonction des usages attendus. Les caractéristiques des sols sont à étudier : degré de perméabilité, accessibilité aux

¹⁰ Le terme de descellement, très utilisé dans les publications scientifiques internationales, met en évidence l'effet bénéfique sur l'ensemble de l'écosystème sol (et pas seulement sur le cycle de l'eau).

personnes en situation de handicap (caractère circulaire), matériaux amortissants pour préserver la sécurité au pied des jeux...



Figure 12 – Cour d'école réaménagée à Chasse-sur-Rhône (38) – ©Cerema

Pour plus de recommandations opérationnelles sur les projets de désimperméabilisation, consulter :

- [Cerema : les fiches de retours d'expérience de réaménagement de cours d'école](#)
- [Plante&cit  : D simper abiliser les villes : guide opérationnel pour \(re\)découvrir les sols urbains](#)
- [Ville de Nantes : Cours d' cole reinvent es – Référentiel 2023](#), avec notamment un tableau détaillé des différents types de sols et des préconisations d'usages pages 30 à 35.

Intégrer l'eau de pluie dans la cour

Intégrer la présence de l'eau dans la cour pour contribuer directement ou indirectement à la fraîcheur peut prendre plusieurs formes :

- récupérer l'eau de pluie pour arroser les plantations qui contribueront à l'ombrage et la fraîcheur ;
- favoriser l'infiltration de l'eau de pluie dans des « jardins de pluie » qui permettront le développement d'une végétation apportant fraîcheur et ombrage ;
- rendre visible et accessible au jeu l'eau de pluie afin que les enfants puissent se rafraîchir et bénéficier de la fraîcheur produite par l'évaporation.

Gérer l'eau de pluie dans la cour

Il s'agit de permettre l'infiltration de l'eau afin d'alimenter la nappe phréatique, redonner vie aux sols, permettre la croissance des végétaux... et de stocker l'eau de pluie pour des usages ultérieurs (irrigation des espaces plantés, nettoyage de la cour et des locaux, rafraîchissement des espaces extérieurs par temps chaud...).

Ce stockage peut se faire dans des cuves enterrées pour les gros volumes, ou dans des cuves en surface, par simple gravitation, pour les usages plus modestes.

In fine, l'objectif pourrait être de se déconnecter du réseau de collecte des eaux pluviales.

Le jardin de pluie, un aménagement multifonctionnel plébiscité

Espace enherbé et planté d'arbres, en déclivité, le jardin de pluie dans une cour d'école permet d'accueillir l'eau de pluie et de l'infiltrer à débit limité.

Cette fonction de recueil et d'infiltration d'eau de pluie n'est pas incompatible avec la fonction récréative et pédagogique, bien au contraire. En période chaude, les enfants pourront accéder à cet espace et profiter de l'ombrage d'une végétation qui se sera développée dans de bonnes conditions hydriques. Par exemple, cet espace sera propice à l'installation d'une classe dehors, avec des rondins de bois ou des bancs, en utilisant la déclivité comme un amphithéâtre naturel, à l'ombre des arbres. La biodiversité sera favorisée avec la plantation et le développement d'essences d'arbres adaptées et variées.



Illustration 1 – Jardin de pluie de l'école de la Porte d'eau, à Dunkerque – ©Cerema

Jouer avec l'eau de pluie dans la cour

Rendre visible et accessible au jeu l'eau de pluie par des canalisations ouvertes ou des ruisseaux pédagogiques implique d'abord un changement de regard sur l'eau : l'accueillir comme une ressource précieuse et non s'en débarrasser comme un problème.

Cela nécessite également :

- de penser des périodes plus sèches à venir, avec un manque d'eau (donc de la stocker), mais aussi des périodes de précipitations plus intenses ;
- de changer les pratiques : accepter que les enfants puissent jouer avec l'eau, avec des vêtements et chaussures adaptés ;
- de proposer des aménagements combinant gestion de l'eau, nature et activités pédagogiques, comme des jardins de pluie, des mares, des ruisseaux, voire des terrains de sport en contrebas, devenant des bassins-tampons lors des pluies intenses, etc.

Cependant, peu de collectivités rendent visible et accessible l'eau de pluie aux enfants dans les cours d'école, notamment par crainte que ces derniers boivent l'eau non potable, ou encore par crainte de la salissure des locaux avec la boue. Ces craintes sont souvent partagées par les enseignants ou encore les parents. C'est pourquoi une communication et une intégration de l'ensemble des parties prenantes dans la réflexion en amont du projet sont importantes. Cela constitue la manière la plus efficace de lever les réticences en définissant ensemble le cadre et les conditions de réussite (explications apportées aux élèves, temporalités de la mise en eau, adaptation des vêtements...).



Figure 13 – Ruisseau alimenté par une cuve de récupération d'eau de pluie dans la cour de l'école du Château à Chasse-sur-Rhône (38) – ©Cerema

Végétaliser les façades, la cour et les abords d'école

La végétation possède de nombreux atouts pour atténuer les surchauffes. Elle crée de l'ombrage qui limite le rayonnement solaire direct sur le bâtiment en fonction de la densité de feuillage, de l'heure de la journée et de la saison. De plus, l'humidité sur le feuillage s'évapore en consommant de l'énergie (évapotranspiration), ce qui réduit localement la température ambiante.

Au-delà de l'enjeu de confort d'été, la végétation présente de nombreux bienfaits : elle améliore la gestion des eaux pluviales, crée une protection visuelle vis-à-vis de la rue et peut capter polluants et poussières... La végétation possède également des qualités sensorielles générant du bien-être et constitue un support pédagogique tout en contribuant à la biodiversité (refuges, nourriture...).

Ce guide se concentre sur les actions réalisables par la végétalisation des façades et des abords. La mise en œuvre d'une toiture végétalisée ou d'un mur vivant représente des travaux qui s'intègrent dans un projet de rénovation globale d'un bâtiment existant.

Végétalisation des façades

Il existe trois types de façades végétalisées (cf. figures ci-dessous) :

- **les façades végétalisées par des plantes grimpantes ou contre la paroi** : c'est la solution à privilégier, la moins onéreuse et la plus résiliente. La plantation en pleine terre rend les plantes plus résistantes à la sécheresse, et contribue à l'infiltration de l'eau le reste de l'année ;
- **les façades végétalisées modulaires ou avec une végétation retombant à distance de la paroi** : c'est un aménagement fragile et dépendant d'un apport régulier en eau, peu adapté aux écoles, souvent fermées durant les deux mois les plus chauds et secs de l'année : la végétation en bac meurt ;
- **les façades végétalisées composées d'un mur vivant** avec un substrat irrigué : outre l'énorme utilisation de plastiques et de polystyrène, cette solution onéreuse est mal adaptée aux écoles : une petite panne dans le système durant les mois d'été tue l'ensemble de l'installation.



Figure 14 – Trois types de façades végétalisées – ©Cerema

Effet des façades végétalisées sur les espaces extérieurs proches (cour d'école)

C'est l'effet d'ombrage qui joue un rôle majeur dans le rafraîchissement procuré par les façades végétalisées : 80 % du rafraîchissement serait dû à l'ombrage tandis que 20 % serait dû à l'évapotranspiration¹¹.

Les meilleures réductions de températures sont obtenues lorsque la couverture végétale est importante. L'indice de surface foliaire permet de caractériser cette couverture : **de petites feuilles en grand nombre représentent ainsi une couverture dense offrant de meilleurs résultats par rapport aux grandes feuilles qui limitent la dissipation de chaleur.**

Par ailleurs, **plus la disponibilité en eau est importante, plus les effets thermiques produits sont importants**, à travers l'évapotranspiration que cela va procurer : un débit minimum de 2,5 l/(m².jour) est recommandé pour assurer cet effet de rafraîchissement¹².

Ainsi, les façades végétalisées permettent de réduire considérablement les températures de surface des façades : en été en climat métropolitain, l'écart de température de surface entre une façade végétalisée ou non végétalisée varie entre 12,5 °C (pour un climat continental – été très chaud et humide) et 16,5 °C (pour un climat méditerranéen – été très chaud)¹³.

Pour un espace très ouvert comme les cours d'école, les parois végétalisées généreront un ressenti de paroi fraîche, ce qui est déjà important étant donné la sensibilité du corps humain à ce type d'effet. L'effet de l'évapotranspiration et de la convection (diminution de la température de l'air) sera en revanche minime¹⁴.

Effet des façades végétalisées sur le bâtiment

Les études disponibles sur le sujet tendent à montrer que **les murs végétalisés sont généralement efficaces sous fortes chaleurs dans le cas de bâtiments non isolés et climatisés** (la réduction de la consommation énergétique serait de l'ordre de 20 à 30 %).

Le bilan thermique varie en fonction du système de façade mis en œuvre : le système le plus efficace est le cas du mur vivant avec un substrat irrigué, néanmoins cette solution n'est envisageable que dans le cas de travaux lourds (dans ce cas, une isolation thermique restera préférable). Le système le moins performant est la façade végétalisée grimpante à distance.

Les études montrent que le fait de combiner toitures et façades végétalisées permettrait d'amplifier le phénomène à l'échelle du bâtiment.

¹¹ Cameron (2014), Hoelscher (2016).

¹² Hoelscher, Oquendo-Di Cosola.

¹³ « Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review », Kyra Koch, Tess Ysebaert, Siegfried Denys, Roeland Samson.

¹⁴ Source : « La biodiversité en ville dense », Plante&Cité.

Les effets sont plus grands pour les façades qui reçoivent le plus d'ensoleillement, d'autant plus si la façade est végétalisée sur toute sa hauteur : une végétalisation totale de la façade permet d'abaisser la température en journée sur tout le bâtiment de 5 °C dans la partie supérieure et de 2 à 3 °C dans la partie inférieure.

Types de plantes grimpantes en fonction du support

Pour choisir les végétaux à planter, plusieurs éléments sont à prendre en compte : le climat local en été et en hiver, l'espace disponible au sol, le type de sol, l'exposition de la façade, le développement prévu pour la plante et son mode d'accrochage qui doit être compatible avec le support (matériaux et résistance mécanique). Les plantes à racines crampons nécessitent par exemple un support rugueux pour pouvoir s'accrocher.

Des plantes grimpantes à feuillage caduque permettent de bénéficier des apports solaires en hiver, ce qui peut être intéressant sur une pergola.

Enfin, la santé et la sécurité des enfants sont un critère important : éviter les végétaux toxiques, ceux émettant des pollens allergisants ou attirant les guêpes et frelons.

La mise en œuvre est à adapter au type de façade, les plantes pourront grimper soit directement sur celle-ci, soit sur un support en avant du mur.



Figure 15 – Trois types de plantes grimpantes pouvant être envisagées pour végétaliser les façades des cours d'école : lierre – © J.Guespin, houblon – © J.Guespin, et glycine – © Cerema

Une plantation au printemps ou en automne facilite la reprise des végétaux. Plusieurs années étant nécessaires avant de pouvoir bénéficier d'une végétation suffisante pour être protectrice, des dispositifs temporaires peuvent être installés le temps que la végétation se développe : toiles tendues, films solaires...

Pour les bâtiments élevés, les étages supérieurs peuvent être couverts par des plantes tombantes : un bureau d'études structure devra alors vérifier que la toiture peut supporter le poids supplémentaire (végétaux et bacs de plantation).

Le coût de la plantation de grimpantes sur sol est inférieur à 50 €/m².

Végétalisation des abords du bâtiment : cours d'école et espaces publics

La végétalisation des abords du bâtiment école a aussi un impact sur la température intérieure d'un bâtiment, car elle agit sur le rayonnement solaire global reçu par la façade : celui-ci est moins important dans le cas d'un abord végétalisé que minéral. Ce sont logiquement les parties basses des façades (rez-de-chaussée et 1^{er} étage) qui bénéficient davantage de ces effets positifs de la végétalisation.

Pour un effet optimum, les arbres de haute tige doivent être situés entre 3 et 5 m de la façade, ce qui ne sera pas forcément possible en zone de retrait gonflement des argiles (voir encart ci-après).

Enfin, une végétation composée de strates arbustives et/ou buissonnantes a un effet thermique bénéfique supérieure à une surface engazonnée.

Végétaliser en zone de risque de Retrait gonflement des sols argileux (RGA)

Les processus naturels de retrait et de gonflement sont une succession de variations de teneur en eau d'un sol argileux sous l'effet de sollicitations hydriques et cycliques influencées par les conditions météorologiques de sécheresse et de précipitations. Par ailleurs, le phénomène de RGA dépend de la nature minéralogique du sol argileux et l'environnement proche dans lequel il se produit.

L'augmentation de la fréquence des sécheresses extrêmes constatée ces six dernières années aura pour conséquences l'augmentation de la vulnérabilité du bâti et un effet cumulatif des désordres. Ainsi, ces désordres cumulés nécessiteront des travaux lourds et coûteux.

Le phénomène de RGA touche plus particulièrement les ouvrages ayant peu de fondations comme les routes et les maisons. En zone de risque de RGA, il est recommandé de respecter une distance entre l'arbre et les fondations du bâtiment (d'au moins 1,5 fois la hauteur de l'arbre à maturité pour le cas de maisons individuelles)¹⁵, ce qui pourrait annuler l'effet bénéfique d'ombrage de la végétation.

Comment savoir si une école est soumise au risque RGA et si le bâtiment est vulnérable ?

- Vérifier si le sol est argileux en consultant les bases de données générales BRGM.
- Si le sol est argileux, une étude de sol permettra de savoir si l'argile est « gonflante ».
- Si l'étude de sol ne peut être faite, respecter la distance de sécurité entre l'arbre et le bâti (1,5 fois la hauteur de l'arbre à maturité).
- Vérifier si les fondations sont profondes.

Quelques préconisations concrètes relatives à la végétalisation des abords

- Maximiser les zones de forte végétalisation comprenant plusieurs strates (arbres à hautes tiges, petits arbres, arbustes, couvre-sol, etc.).
- Développer des zones d'infiltration des eaux pluviales pour réduire l'albédo environnant le bâtiment
- Privilégier les clôtures traversantes afin de ne pas limiter les flux d'air.
- Si une priorité est à faire, privilégier la végétalisation des abords des façades les plus exposées à l'irradiation solaire directe.
- Adapter la végétation selon la distance à la façade : une végétalisation basse (couvrants, arbustes) en dessous de 3 mètres et des arbres à hautes tiges avec une hauteur idéalement supérieure à la moitié de la hauteur du bâtiment (H/2) au-delà de 3 mètres.
- Éviter de positionner un parking minéralisé à proximité de l'école, surtout dans l'axe des vents dominants.

¹⁵ Source : Cerema : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/mieux-prevenir-risque-retrait-gonflement-sols-argileux-rga>

Réaménagement des cours d'école : une nécessaire coconstruction pour définir les besoins et anticiper la gestion

Le réaménagement d'une cour d'école étant à la croisée de nombreux enjeux, le projet ne peut se réaliser sans **une intégration de toutes les parties prenantes** : les enseignants, les élèves, les parents d'élèves, les services de la collectivité (les Atsem, les services d'entretien et de gestion, les animateurs du périscolaire, etc.). **Cela permet que le projet réponde réellement aux besoins de tous, tout en anticipant son entretien et sa gestion.**

Cette coconstruction est idéalement mise en place tout au long du projet, dès la phase de programmation jusqu'en phase de livraison, afin de comprendre et analyser les pratiques et les usages, définir les besoins, susciter les idées et concevoir les nouveaux aménagements... Tout ce processus a des vertus pédagogiques. Les enfants peuvent aussi participer à la plantation, définir les règles d'usages... ce qui contribue à une appropriation ad hoc de la cour et une gestion facilitée.

Points de vigilance : la difficulté à concilier différents enjeux

Le réaménagement d'une cour d'école et sa végétalisation font émerger des enjeux parfois difficiles à concilier sur lesquels des choix éclairés doivent être faits en concertation :

- **végétalisation des façades et sécurité incendie** : une attention particulière est à porter aux bâtiments de plusieurs étages. Une adaptation pourra être faite au cas par cas en concertation avec le SDIS ;
- **réaménagement de la cour en sous-espaces et surveillance** aisée des enfants durant la récréation ;
- **végétalisation et risque de Retrait gonflement des argiles (RGA)** ;
- **accueil de la biodiversité et phobie des insectes** ;
- **jeux nature et sécurité.**
- etc.

Cette coconstruction est également utile pour lever les craintes et réticences liées au réaménagement de la cour de la part des enseignants, des parents, comme de celle des gestionnaires.

Enseignants et parents craignent les salissures avec la présence de terre et de boue, les piqûres d'insectes, les échardes, le risque lié aux jeux non standardisés (rondins de bois, cabanes en osier...), etc. Ces craintes peuvent parfois être issues de préjugés tels que « la nature est sale » ou « dangereuse », ou encore de phobies (insectes, araignées). Il est important de faire émerger ces craintes et d'y répondre en mettant en place des solutions pratiques pour éviter les désagréments (espaces de décrottage, zones propres, stockage du matériel). La gestion du risque est un changement culturel à aborder, notamment avec les parents.

Faire comprendre les bienfaits de telles cours permettra une meilleure acceptation : la présence de végétaux permet de mener des activités pédagogiques (croissance végétale, rythme saisonnier, observation de la biodiversité qui s'y installe...), de nouvelles formes d'activités ludiques et pédagogiques émergent, les enfants sont plus apaisés...



Figure 16 – Brosses pour décrotter les pieds et point d'eau – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema



Figure 17 – Espace en terre permettant aux enfants de creuser – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema



Figure 18 – Cabane en osier réparée avec les enfants – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema



Figure 19 – Parcours sur rondins – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema

Un surcoût d'entretien à anticiper

La végétalisation, la mise en place de copeaux de bois... nécessitent plus d'entretien et d'intervention de la part des techniciens des espaces verts qu'une cour couverte d'asphalte. Ce surcoût sera donc à estimer en amont et à prendre en compte.

La gestion des espaces pendant les vacances scolaires, notamment les coins potagers, est à anticiper. Plusieurs solutions sont possibles : plantes aromatiques résistant à la période estivale et offrant une plage de récolte plus importante qu'une fructification, petits arbustes fruitiers (framboisiers, groseilliers, etc.) qui demandent moins d'entretien de la part des élèves et des équipes pédagogiques que les potagers, plantation de vivaces qui restent en place plusieurs années...

Une autre solution est de **faire le lien avec les acteurs** qui sont susceptibles d'utiliser les locaux en été ou d'y venir pour y réaliser une activité de jardinage (centre de loisirs par exemple), ou encore qui pourraient être intéressés pour gérer les espaces l'été (parents d'élèves, associations).

L'implication des enfants dans l'entretien, par exemple en balayant les copeaux, contribue à leur responsabilisation.

Réaménagement de la cour de l'école du Château à Chasse-sur-Rhône (38)

La ville de Chasse-sur-Rhône a engagé un projet sur la cour d'école du Château dans un objectif de rafraîchir la ville, améliorer le bien-être des enfants et améliorer la gestion de l'eau en réponse à un appel à projets de l'Agence de l'eau).

Cet espace bitumé de 1 000 m² a été complètement transformé : agrandie de 700 m² pour accueillir en son sein un parc arboré préexistant, la cour a été végétalisée, désimperméabilisée, partitionnée en sous-espaces en concertation avec les enseignants, les personnels éducatif et technique, les enfants et leurs parents. La municipalité a mandaté pour cela l'Atelier Pop Corn, assistant à maîtrise d'usage.

En juin 2022, six mois après la mise en service, une évaluation a été réalisée : « La satisfaction est générale : les enseignants constatent moins de tensions, car les enfants peuvent choisir ce qu'ils font à la récréation, les parents les trouvent changés grâce à ces nouvelles expériences. » En revanche, l'entretien de la cour est plus conséquent pour les services techniques : ramassage des feuilles mortes, maintien en état de la pompe à bras, nettoyage plus complexe du fait de sols variés (sable, gravier, terre). Pour limiter leur travail, les enfants sont invités à remplir de grands sacs de pommes de pin ou de feuilles, vidés par les services techniques. Les arbres et arbustes plantés font aussi l'objet d'un contrat d'entretien avec une société privée partenaire durant les premières années.



Figure 20 - Cour d'école réaménagée à Chasse-sur-Rhône (38) ©Cerema

Pour aller plus loin :

- [Cerema : les fiches de retours d'expérience de réaménagement de cours d'école](#)
- [CAUE75 : l'expérience des cours Oasis à Paris depuis 2018](#)

Installer des voiles d'ombrage

Ces structures légères permettent d'apporter de l'ombre aux enfants lorsqu'ils sont en récréation, mais aussi aux façades des bâtiments, limitant ainsi leur montée en température.

Plusieurs formes et surfaces de toile existent. Il convient de choisir ce qui sera adapté à l'orientation solaire et à la surface à protéger, notamment si on souhaite ombrager une façade.

Elles sont à fixer entre plusieurs points d'ancrage, déjà existants ou à installer. Il peut s'agir de chevilles fixées dans le bâtiment, ou bien des mâts conçus pour ce dispositif qui s'ancre soit dans un sol meuble moyennant des câbles de fixation, soit dans un sol dur.

Les points de fixation doivent se situer à des hauteurs différentes afin d'incliner la voile d'environ 30 degrés pour permettre à l'eau de s'écouler. La toile doit être tendue de façon à éviter une éventuelle accumulation d'eau, ne pas battre au vent et optimiser la protection apportée.

Cependant, les éléments fixes de la structure peuvent poser problème dans une cour d'école, entre des mâts inclinés que les enfants pourraient être tentés d'escalader et des câbles de fixation si le terrain est meuble, qui sont autant de risques de chute s'ils se trouvent à un endroit de passage. Il est donc fortement recommandé de choisir des points d'ancrage sur la maçonnerie, ou à défaut localisés en bordure de l'espace extérieur (le long d'un mur ou d'un grillage) et dans des zones à sécuriser ou faciles à surveiller.

Plusieurs degrés de protection aux rayons ultraviolets existent. Pour une cour d'école, il conviendra de choisir une voile avec un bon indice UV.

Moins onéreuses que l'installation de structure permanente (type auvent), les voiles d'ombrage peuvent être une solution dans l'attente de la croissance d'un arbre par exemple.

En termes d'entretien et de maintenance, il sera nécessaire de démonter les toiles pour la période hivernale, à la fois pour la pérennité de la structure et pour bénéficier des apports solaires en saison froide si elle est accolée au bâtiment.

Ainsi, la collectivité d'Aix-en-Provence avait fait le choix d'installer des toiles triangulaires pour protéger la cour de l'école maternelle de La Beauvalle. Cependant, elle n'avait pas anticipé leur gestion : il est nécessaire de les plier, les stocker avant l'hiver... Depuis, la collectivité a fait le choix de positionner ces toiles à des endroits où il n'est pas nécessaire de les démonter (loin du bâti).

3.3 Diminuer les apports de chaleur

Protéger le bâtiment du rayonnement solaire

Pour éviter les surchauffes dans le bâtiment, le premier geste est de ne pas laisser entrer la chaleur, et notamment celle générée par le rayonnement solaire¹⁶. Si l'ensemble de l'enveloppe est concerné (murs, parois vitrées, toiture), certaines parties sont plus sensibles :

- la toiture, car c'est la face la plus exposée au rayonnement solaire du fait de son orientation ;
- les parois vitrées, car elles laissent passer le rayonnement solaire direct : une fenêtre non protégée d'une surface de 1 m² peut avoir une puissance équivalente à un radiateur de 600 W.

Toiture et parois vitrées sont donc à protéger en priorité.

Enfin, plus l'inertie du bâtiment est faible et plus celui-ci est sensible aux apports de chaleur du rayonnement solaire direct.

Pour plus d'information sur les protections solaires, consulter : [EnviroBat BDM, Conception des protections solaires, Principes généraux et retours d'expérience, novembre 2022](#)

Protéger les vitrages

De manière générale, les protections doivent être situées à l'extérieur du bâtiment pour être efficaces, afin que le rayonnement solaire soit arrêté avant de traverser le vitrage¹⁷. Une protection solaire intérieure, tel un rideau, protège des éblouissements, mais peu de la chaleur, car les rayons solaires, en traversant le vitrage, vont chauffer l'espace compris entre le vitrage et la protection solaire.

Les dispositifs de protection sont à positionner et à dimensionner pour protéger du soleil en été et en mi-saison tout en profitant de la chaleur et de la lumière des rayons solaires en hiver. Ils sont à adapter à l'exposition de la surface vitrée (nord, sud, est, ouest) et à l'ombrage des masques proches (végétations, bâtiments...) : des simulations peuvent ainsi être réalisées pour optimiser l'orientation et les dimensions des dispositifs de protection solaires¹⁸.

De manière générale, la couleur des protections doit être claire pour réfléchir au maximum la chaleur et ne pas la stocker puis la diffuser par rayonnement à proximité du vitrage.

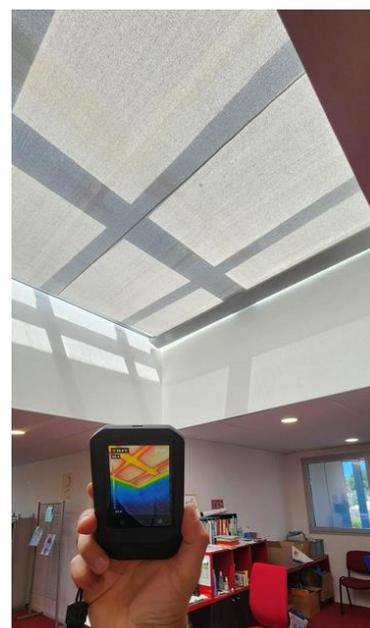
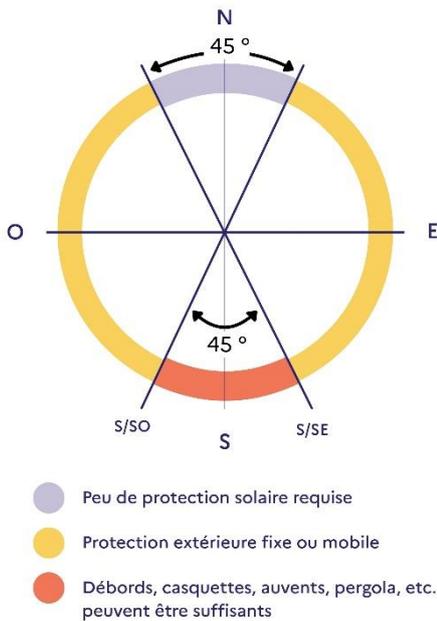


Figure 21 – Un rideau intérieur apporte un peu de confort, mais laisse entrer une grande quantité de chaleur, visible à la caméra thermique – ©Cerema

Source : Cerema : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/mieux-prevenir-risque-retrait-gonflement-sols-argileux-rga-21-2022>) » – https://www.enviroboite.net/IMG/pdf/rexprotectionsolaires_vf.pdf

¹⁷ Les stores intérieurs positionnés près du vitrage et composés de matériaux réfléchissants peuvent rediriger une partie des ondes infrarouges vers l'extérieur, mais ils restent largement moins efficaces qu'une protection solaire extérieure.

¹⁸ Un outil, mis à disposition par le Cerema, permet d'obtenir l'impact de la protection en termes de chaleur reçue en été comme en période de chauffe. Il s'appuie sur une simulation des facteurs solaires des menuiseries en fonction de la protection solaire extérieure fixe prévue et des masques lointains. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/cerema-publie-outil-permettant-calculer-benefices-etehiver>



fonction de l'orientation du bâtiment –
Source : envirobat BDM – Adaptation
©Cerema

Selon l'exposition des vitrages, les solutions pour limiter la surchauffe estivale seront différentes :

- au nord : pas de protection nécessaire contre la surchauffe (mais recommandée pour le confort thermique d'hiver et pour se protéger du rayonnement indirect) ;
- au sud : des dispositifs fixes horizontaux (casquettes, débords de toit, auvents, coursives, pergolas...) bien dimensionnés protègent les vitrages en période estivale. Cependant, si les vitrages sont toute hauteur, des dispositifs complémentaires peuvent être nécessaires pour le rayonnement solaire en mi-saison ;
- à l'est et à l'ouest : des protections solaires verticales ou orientables sont plus appropriées. À noter que ces expositions reçoivent deux fois plus d'apport solaire que l'exposition sud sur les périodes estivales.

Les dispositifs de protection solaire doivent également :

- permettre l'aération quand on ouvre les fenêtres ;
- être compatibles avec les protections patrimoniales (bâtiment classé ou inscrit, bâtiment dans le périmètre de protection de monument historique).

Dispositifs fixes horizontaux : casquettes, auvents, coursives, étagères à lumière et pergolas végétalisées

Ces dispositifs sont efficaces en exposition sud.

Sur des ouvertures de grande hauteur, des étagères à lumière positionnées en partie haute du vitrage permettent d'ombrager le vitrage en été tout en laissant entrer une partie de la lumière naturelle jusqu'au fond de la pièce.

Les pergolas sont à végétaliser avec des plantes à feuilles caduques afin que le feuillage fasse de l'ombre du printemps à l'automne, alors qu'en hiver l'absence de feuillage permet de profiter du rayonnement solaire. Les pergolas végétales demandent un entretien plus ou moins important selon les espèces (*a minima* le ramassage des feuilles mortes).

Ces dispositifs ne demandent aucune intervention de la part des usagers pour bénéficier de l'ombrage.

Un préau ou une coursive sur la façade sud peut ombrager les ouvertures de la même manière qu'une casquette ou un débord de toiture : il est alors nécessaire de gérer les conflits d'usages possibles (horaire du travail en classe et récréations...).



Figure 23 – Groupe scolaire René-Bruyère à Aix-les-Bains : étagères à lumière – Crédits : ICMA/F. Delairon

Volets et contrevents

Le choix du modèle doit être réalisé en fonction de l'orientation de la façade.

Les volets sont à fermer en période d'inoccupation pour ne pas stocker inutilement de la chaleur dans le bâtiment, d'autant plus s'il est à forte inertie.

Brise soleil, claustras

Les claustras¹⁹ sont des dispositifs fixes. Les brise-soleil peuvent être fixes ou orientables.

Les dispositifs fixes sont plus faciles d'entretien et à privilégier en cas de forte exposition aux vents.

Les lames orientables sont plus efficaces, car elles permettent d'optimiser les apports lumineux et de chaleur en fonction de la saison et de la météo, et également en orientation est ou ouest. Cependant, en établissement scolaire, les brise-soleil orientables sont peu manipulés et pas toujours de manière efficace (par exemple, ils sont fermés trop tard dans la journée, une fois que la chaleur est entrée). Plus fragiles qu'un dispositif fixe, ils ne sont pas toujours réparés car cela représente un coût que la collectivité n'a pas systématiquement anticipé. De plus, ils pourraient présenter un danger pour les élèves (doigts coincés). Le choix d'un système de brise-soleil devra donc s'orienter vers les dispositifs les plus robustes et qualitatifs, et s'accompagner d'une formation des occupants.

Retour d'expérience de la Ville de Velaux (13)

En 2024, la Ville de Velaux dans le département des Bouches-du-Rhône a choisi de miser dans un premier temps sur les protections solaires pour améliorer le confort de ses deux écoles. Des protections solaires fixes ont ainsi été mises en place sur les façades est, ouest et sud des bâtiments en rez-de-chaussée construits entre 1960 et 1980. Elles permettent de limiter les apports solaires en saison chaude tout en les préservant l'hiver grâce à la pose d'un matériel avec des inclinaisons et des dimensions optimisées.



Figure 23 – Brise-soleil fixes installés dans une école à Velaux (13) – ©Cerema



Figure 24 – Brise-soleil orientables au collège Diderot à Sorgues (84) – ©Cerema



Figure 24 – Brise-soleil fixes au collège Diderot à Sorgues (84) – ©Cerema

¹⁹ Les claustras sont des parois verticales dont toute la surface est ajourée, et réalisées en éléments de béton moulé ou de céramiques maçonnées (Dicobat).

Automatisation des systèmes de protection solaire ou mise en place de nouvelles pratiques ?

L'**automatisation** des protections solaires réagissant à des capteurs d'ensoleillement par exemple est une solution parfois choisie pour des collèges ou lycées. Ce n'est pas forcément une solution pertinente, car cela nécessite un entretien régulier et une maintenance très réactive. De plus, celle-ci n'est pas forcément gage de satisfaction pour les occupants : les réglages ne seront jamais assez fins pour correspondre parfaitement aux besoins.

Si le système de protection solaire n'est pas automatisé, **la mobilisation des occupants** est nécessaire. Gardiens, enseignants, animateurs du périscolaire, élèves, personnel de ménage... doivent être sensibilisés pour savoir quand manipuler les brise-soleil ou les rideaux, quand ouvrir les fenêtres et les fermer en fonction de la température extérieure...

Pour les élèves, ce sujet est l'occasion d'un apprentissage utile également pour la maison et d'une responsabilisation sur la gestion de leur école (voir le retour d'expérience sur le diagnostic participatif en partie 2.2 de ce rapport).

Une organisation peut être mise en place pour que la première personne arrivant dans l'école ouvre les fenêtres aux heures les plus fraîches du matin.

La motorisation des protections solaires facilite leur usage de la part des occupants, mais nécessite d'être réactif vis-à-vis des pannes. Cependant, des problèmes de sécurité sont parfois observés vis-à-vis d'un public d'élèves, ce qui fait préférer à certains gestionnaires le choix de brise-soleil fixes.

Dans tous les cas, un contrôle manuel doit rester possible pour s'adapter aux usages ou en cas de panne.

Extension et restructuration du lycée français de Lisbonne, Portugal : une école lowtech en milieu océano-méditerranéen (architecte mandataire : Méandre, etc')

Dans un quartier fortement urbanisé, minéralisé et bruyant, cet établissement se compose de trois bâtiments des années cinquante conçus selon les principes de l'architecture bioclimatique (façades orientées nord-sud, brise-soleil, étagères à lumière, ventilations traversantes ou ascendantes), d'un bâtiment des années soixante-dix moins qualitatif (plein ouest, aux abords minéralisés, dont les salles de classe sont sujettes à la surchauffe) et de préfabriqués climatisés.

L'intervention sur les bâtiments des années cinquante a maintenu les dispositifs en place très performants, et rendus obligatoires par la réglementation. Par exemple, l'obligation d'avoir une hauteur sous plafond de 3 mètres minimum dans les salles de classe avec un double système d'ouvrants : en partie haute (au-dessus de 1,80 mètre) pour créer un courant d'air ne gênant pas les usagers, et en partie basse, à hauteur d'homme, pour créer une brise intérieure rafraîchissante.

Le bâtiment des années soixante-dix a été entièrement restructuré pour favoriser un flux d'air traversant, avec des systèmes d'ouverture dans les portes permettant le free cooling nocturne, portes fermées.

Les solutions bioclimatiques ont été étudiées grâce à des simulations thermiques dynamiques (STD) pour tester les configurations des façades, des brise-soleil, des orientations.

Les cours d'école facilitent l'infiltration des eaux de pluie. Les menuiseries intérieures et extérieures (y compris les brise-soleil) sont en panneaux lamellés-collés de mélèze, légers et faciles à manipuler, même par les enfants.

Enfin, l'isolation par l'extérieur des extensions et des bâtiments réhabilités a été réalisée en panneaux de liège expansé de 9 centimètres. Le revêtement de sol des salles de classe est également en liège massif recouvert d'une couche de vernis sans solvant, permettant d'atteindre les objectifs en termes de confort acoustique, confort d'usage, pérennité, qualité de l'air, proximité d'approvisionnement et de fabrication.

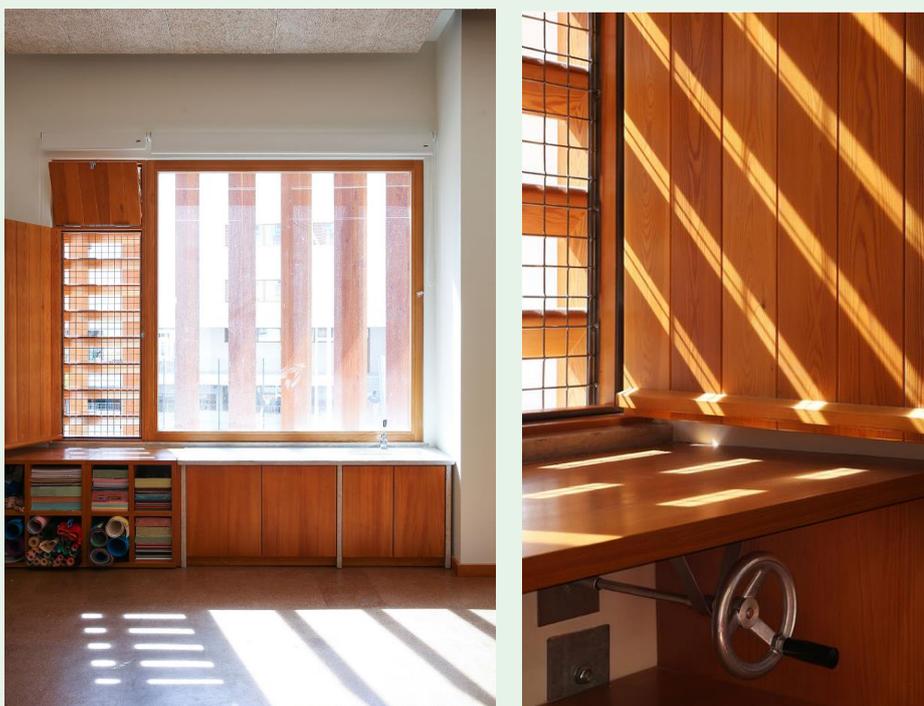


Figure 26 – Brise-soleil orientables manuels – ©Telmo Miller

Stores extérieurs

Les stores extérieurs regroupent divers types de produits. C'est une solution qui peut être intéressante, car peu onéreuse et assez rapide à installer. Elle peut apporter un confort non négligeable (l'installation de stores screen dans une école à Juvignac (34) a permis un gain de 8 °C dans les salles de classe au regard de la situation initiale).

Les stores screen extérieurs filtrent la lumière naturelle tout en offrant une bonne protection thermique. Ils permettent de conserver une vue vers l'extérieur. En revanche, ils n'assurent pas une protection contre les intrusions, notamment pour les bâtiments de plain-pied.

Il est fortement recommandé d'opter pour des modèles de qualité à coulisses latérales, pour leur meilleure résistance au vent, et de les installer de préférence sur des façades peu exposées aux vents forts (cour intérieure, par exemple). Pour les façades exposées, un système automatisé avec capteur de vent est à envisager afin de rétracter les stores en cas de conditions défavorables.



Figure 27 – Stores screen – ©Cerema

Les volets roulants « standard » présentent des avantages qui ont séduit les gestionnaires de patrimoine. Ils assurent une protection contre le vandalisme, une possibilité d'occultation totale (sieste, etc.) et sont protégés dans un coffre, et donc peu sensibles aux intempéries et aux poussières. Intégrés en applique dans le cadre d'une rénovation, leur installation est simple et économique.

Cependant, cette solution n'est pas optimale pour la gestion combinée des apports solaires et de l'éclairage naturel : lorsque le soleil est rasant, la solution est de descendre complètement le volet, plongeant la classe dans le noir. Ce choix technique n'est donc pas idéal pour le confort d'apprentissage. De plus, le volet roulant ne permet généralement pas de conserver une vue sur l'extérieur.



Figure 28 – Des volets roulants standard dans une école – ©Cerema

Les volets roulants à fentes et à persiennes

Certains volets roulants disposent de fentes modulables ou de grandes mailles laissant entrer davantage de lumière, ou encore présentent des lames persiennes. Ces dispositifs concilient protection anti-intrusion, ouverture pour la ventilation nocturne et possibilité d'usage en journée pour gérer sommairement les apports solaires et l'éclairage naturel.



Figure 29 – Des volets roulants à persiennes – ©Cerema

Films solaires

Les films solaires (ou films anti-chaueur ou film de contrôle solaire) s'appliquent sur des vitrages existants. Cette solution peut être intéressante pour une intervention de court terme afin de réduire le risque de surchauffe en attendant des travaux plus importants, ou encore sur des vitrages complexes où d'autres dispositifs de protection sont difficiles à mettre en œuvre (par exemple, une verrière). En effet le coût est modéré de l'ordre de 10 à 40 €/m² (pose non comprise, prix constatés en 2024). Les films solaires permettent de protéger les vitrages, quelle que soit leur orientation : est, sud ou ouest.



Figure 30 – Des films solaires en rez-de-chaussée côté cour décollés par les enfants – ©Cerema

Les filtres les plus performants laissent passer beaucoup plus de rayonnement visible (lumière) que d'infrarouge (chaleur), ce qui permet de réduire l'apport de chaleur solaire de plus de moitié.

Les filtres les plus efficaces se posent sur l'extérieur du vitrage²⁰.

Leur efficacité dépend du type de film : **un équilibre est à trouver entre protection contre la chaleur estivale, diminution de l'apport de lumière naturelle et diminution des apports solaires en hiver, puisque ce dispositif restera en place, hiver comme été.** De ce fait, les films solaires pourront être installés sans regret pour des couloirs ou des pièces où la lumière naturelle est moins nécessaire.

Ils peuvent se décoller à l'usage et sont à éviter en rez-de-chaussée (risques de dégradation et perte de luminosité plus importante). Leur durée de vie est d'environ 10 ans. Lorsque la part d'absorption de chaleur par le film est importante, une casse thermique ou une détérioration des joints du vitrage est possible.

Réduire les surfaces de vitrage

Il est aussi possible lors d'une rénovation de réduire les surfaces vitrées, par exemple en restituant une allège sur un vitrage toute hauteur. Cela améliorera également le bilan thermique d'hiver.

La toiture

La toiture est la partie du bâtiment exposée au rayonnement solaire direct le plus longtemps et avec l'angle d'incidence le plus perpendiculaire à la paroi (une surface horizontale reçoit un rayonnement solaire au mètre carré bien plus important qu'une surface verticale). C'est pourquoi une action sur la toiture est particulièrement intéressante pour éviter les surchauffes.

L'isolation des combles

L'absence d'isolation en toiture est une source d'inconfort en été comme en hiver. Isoler ou renforcer l'isolation de la toiture d'un bâtiment est un acte sans regret, car il n'y a aucune possibilité d'impact négatif (contrairement à l'isolation des parois verticales qui peut être contre-productive en saison chaude dans certaines configurations, par exemple isolation intérieure de bâtiments patrimoniaux en pierre sans accompagnement de ventilation).

De plus, l'isolation en toiture peut être une intervention très légère lorsqu'il s'agit des combles non occupés par exemple. L'ajout d'un faux plafond peut également être une solution.

²⁰ Une pose à l'intérieur reste possible et aura un effet sur le confort, mais sera beaucoup moins efficace car le vitrage s'échauffera, transmettant de la chaleur par rayonnement à l'intérieur. La pose intérieure sera à éviter pour les vitrages performants et/ou de grande surface.

Les revêtements réfléchissants

Les revêtements réfléchissants se rapprochent, avec des techniques modernisées, de la pratique traditionnelle des régions du Sud visant à privilégier les tons réfléchissants (blancs) des toitures afin de réduire la transmission de chaleur et les risques de surchauffe associés.

Il existe une offre commerciale spécifique de produits qui utilisent des pigments ayant la capacité de réfléchir la chaleur solaire (peintures, membranes, revêtement liquide...). Ces dispositifs pourraient ainsi réfléchir jusqu'à 90 % du rayonnement solaire et baisser de 6° la température intérieure (résultats annoncés par le fabricant, mais dépendant des caractéristiques initiales du bâtiment).

Cette protection est efficace pour le dernier étage qui est souvent le plus inconfortable. L'efficacité est d'autant plus importante que la toiture est peu isolée et représente une part conséquente dans l'enveloppe du bâtiment (grande surface au sol, peu d'étages : ce qui est souvent le cas pour les écoles).

La solution des revêtements réfléchissants, rapide à mettre en œuvre, est donc intéressante pour les écoles dont la toiture n'est pas ou peu isolée, et pour lesquels il n'y a pas de moyens financiers immédiats pour renforcer l'isolation de la toiture qui reste la solution prioritaire à privilégier.

La surface doit être nettoyée régulièrement pour conserver son effet réfléchissant. De plus, l'entretien doit se faire en veillant à ne pas détériorer l'étanchéité et la résistance au feu du support.

Protéger les ouvertures en toiture

Les fenêtres de toit laissent entrer le rayonnement direct avec un angle d'incidence du rayonnement presque zénithal en été et donc une puissance solaire au mètre carré importante, qui contribue fortement aux surchauffes, d'autant plus qu'elles sont rarement protégées.

Des protections peuvent être ajoutées sur les lanterneaux ou dômes de toiture. Elles doivent être conçues pour laisser le passage de la chaleur solaire en hiver tout en l'empêchant en été et mi-saison avec une orientation adaptée.

Maîtriser les apports internes

La chaleur générée à l'intérieur du bâtiment provient :

- des occupants : chaque personne rayonnant entre 70 et 100 W, une classe entière peut facilement émettre 2 200 W soit l'équivalent d'un radiateur ;
- de l'éclairage (sauf si ce sont des LED) ;
- des appareils électriques utilisés (ordinateur, tableau blanc numérique, projecteur, chauffe-eau...).

Sur chacun de ces points, des leviers d'action peuvent être trouvés :

- occupants : faire l'école à l'extérieur peut être une solution (voir la partie dédiée) ;
- éclairage : remplacer un éclairage existant par un système plus économe via des LED est bénéfique au confort. En effet, les LED produisent très peu de chaleur, contrairement aux fluocompacts ou aux systèmes plus anciens. Il faudra veiller cependant à ne pas surdimensionner le nouveau système d'éclairage, les LED étant plus efficaces en termes de production de lumière. Une étude sera donc à réaliser afin de bien calibrer l'installation en fonction du niveau d'éclairement nécessaire ;
- appareils électriques :
 - concernant les appareils utilisés en classe, une sensibilisation des enseignants peut être organisée afin de ne pas laisser en fonctionnement les appareils électriques et d'éclairage de manière inutile (vidéoprojecteurs, ordinateurs, imprimantes...),
 - lors du remplacement des appareils électriques et d'éclairage, il est important de veiller à choisir des appareils performants : peu consommateurs, ils produiront également moins de chaleur (étiquette énergie),
 - la cuisine de la cantine étant une source de production de chaleur importante, proposer des repas froids la minimise et rafraîchit les personnes en période de canicule ;
 - ainsi, en 2018, Toulouse avait expérimenté des **repas froids** dans les cantines, **à la demande des agents techniques des cantines de la ville** ;
 - une réflexion est à mener sur la nécessité d'approvisionnement en eau chaude des points d'eau en période estivale. Les ballons d'eau chaude sont à positionner au plus près des points de puisage. Le ballon en lui-même ainsi que les réseaux peuvent être isolés, ce qui est bénéfique à la fois pour les économies d'énergie et le confort en été.

Lors de la construction d'une école, les locaux qui concentrent des appareils consommateurs (cuisines, buanderie, salle informatique...) sont à éloigner des locaux principaux par des espaces tampons.

Toutefois, la production de chaleur par un éclairage ancien sera toujours moins importante que la production de chaleur par des vitrages non protégés. **De ce fait, il est toujours plus bénéfique pour le confort d'été de fermer les volets et d'allumer la lumière.**

3.4 Évacuer la chaleur : le rafraîchissement nocturne

Le principe repose sur le fait que les températures extérieures sont généralement plus basses pendant la nuit. En ouvrant les fenêtres ou en augmentant le débit des systèmes de ventilation, l'air frais nocturne est introduit à l'intérieur du bâtiment. Cela permet d'évacuer la chaleur accumulée durant la journée et de rafraîchir les masses du bâtiment (murs, cloisons, sols, plafonds et mobilier) qui agissent ensuite comme des éléments de stockage thermique. Cette pratique contribue ainsi à réduire les besoins de refroidissement pendant la journée ou même à les annuler.

Mais son bénéfice est limité en cas de phénomène de « nuit tropicale » (lorsque la température nocturne ne descend pas en dessous de 20 °C en période de canicule). Enfin, l'impact des îlots de chaleur urbain n'est pas à négliger. Les atténuer permet d'améliorer l'efficacité de la surventilation nocturne, car l'air extérieur sera plus frais et donc plus efficace pour abaisser la température intérieure.

Les différents types de rafraîchissements nocturnes

Le rafraîchissement nocturne peut se réaliser par aération ou ventilation naturelle ou bien en utilisant la ventilation mécanique.

Rafrâichissement naturel

- **Aération** : en ouvrant simplement les fenêtres la nuit, l'air frais extérieur entre dans le bâtiment et permet de refroidir les espaces intérieurs. L'efficacité est optimisée lorsque le bâtiment est traversant.
- **Effet cheminée (ou tirage thermique)** : en profitant des différences de hauteur et de température entre différentes parties du bâtiment, l'air chaud est évacué vers le haut et remplacé par de l'air plus frais, par exemple en ouvrant des lanterneaux ou fenêtres de toit.
- **Refroidissement par masse thermique** : ce concept repose sur l'inertie thermique, c'est-à-dire la capacité des matériaux à absorber la chaleur pendant la journée et à la relâcher lentement lorsque les températures baissent, généralement la nuit. Certains matériaux, comme le béton, la pierre, la terre cuite et la brique ont une grande capacité thermique. En été, ces matériaux absorbent la chaleur excédentaire de l'air intérieur au lieu de la laisser s'accumuler, réduisant ainsi les températures ressenties dans le bâtiment.

Rafrâichissement mécanique

- **Ventilation forcée** : il s'agit d'utiliser le système de ventilation pour accélérer le renouvellement de l'air frais dans le bâtiment pendant la nuit, en augmentant le débit de la ventilation mécanique.

Dans une salle de classe, les flux de renouvellement d'air, s'ils sont dimensionnés au-delà de ce qu'impose la réglementation, peuvent représenter un bon potentiel. Le niveau de ventilation de certaines écoles a par exemple été calibré à 30 m³/h/élève, mais cela reste rare²¹.

²¹ Par exemple, le groupe scolaire Eugénie-Brazier à Lyon : le niveau de ventilation est deux fois supérieur à la réglementation en vigueur et les circulations sont ventilées, servant ainsi de conduits de récupération d'air pour les centrales à traitement d'air.

Les freins à la mise en œuvre du rafraîchissement nocturne

Bien que très efficace, le rafraîchissement nocturne n'est pas toujours mis en œuvre pour diverses raisons :

- intempéries : la pluie pourrait pénétrer dans l'école et dégrader le bâtiment ou le mobilier ;
- intrusion : des individus pourraient profiter de fenêtres laissées ouvertes pour pénétrer dans l'école, ce qui pose des problèmes de sécurité et des risques de dégradations ;
- horaires de travail : lorsque le dernier occupant quitte l'école, la chaleur est encore trop intense pour ouvrir les fenêtres. Le gardien n'a pas non plus toujours des horaires de travail adaptés à cette situation. Une ouverture le matin par le premier arrivant est bénéfique, mais pas assez longue pour être aussi efficace.

Face à ces freins, des solutions sont possibles

- **Grilles de sécurité** : installer des grilles ou des systèmes de sécurité aux fenêtres permet l'ouverture sans compromettre la protection du bâtiment.
- **Systèmes d'alarme** : l'utilisation de capteurs ou de systèmes d'alarme peut dissuader et signaler les intrusions tout en permettant d'aérer la nuit, mais cela peut poser des problèmes si un animal s'introduit et déclenche l'alarme.
- **Ouvertures sécurisées** : certaines fenêtres peuvent être conçues pour s'ouvrir en basculant vers l'intérieur (à soufflet), offrant un minimum d'aération tout en réduisant le risque d'intrusion.
- **Modification des horaires de travail** du gardien le soir en période de surchauffe afin qu'il puisse venir ouvrir les fenêtres en début de nuit.



Figure 25 – Ouvrant de ventilation équipé d'une grille métallique anti-intrusion dans une école à Cannes (06) – ©Cerema

3.5 Baisser la température ambiante et ressentie dans le bâtiment de l'école

Le confort thermique est très souvent réduit à une température d'air. Or, comme nous l'avons présenté en première partie de ce document, ce paramètre n'est que l'un des facteurs qui impactent notre ressenti thermique, aux côtés de la vitesse de l'air, de la température radiative et de l'humidité ambiante, ainsi que de la vêtue et du métabolisme propres à chacun. Agir sur l'ensemble des paramètres offre des possibilités d'amélioration du confort nombreuses et efficaces.

Agir sur la température ressentie

Les brasseurs d'air

Les brasseurs d'air, ou ventilateurs de plafond, n'influencent pas sur la température de l'air, mais sur la température ressentie.

Avec les protections solaires, c'est un élément phare d'adaptation des bâtiments aux fortes chaleurs et une solution qui **s'avère très efficace pour améliorer le confort thermique d'été** dans le bâtiment, à moindre coût environnemental et financier.

Il est communément admis que les brasseurs d'air permettent un effet de rafraîchissement (*cooling effect*) de plusieurs degrés Celsius dans des conditions d'utilisation recommandées, qui sera plus prononcé dans les situations où les occupants sont en tenue légère. Ainsi, l'effet des brasseurs d'air sera plus élevé dans des salles de sport ou gymnases. Cette sensation de rafraîchissement s'explique par la dissipation thermique cutanée favorisée par ces appareils : la peau permet des échanges thermiques entre le corps et son environnement, favorisés par l'effet convectif de la vitesse de l'air et l'évaporation de la transpiration que les ventilateurs vont renforcer.

Une vitesse d'air de 1 m/s sur une personne équivaut à un abaissement de la température ressentie de 2 à 4 °C selon les conditions hygrométriques²². Plus efficaces, plus confortables et moins bruyants que des ventilateurs verticaux, les brasseurs d'air créent un flux vertical qui n'engendre pas de courants d'air gênants pour les élèves et enseignants (feuilles volantes), et ils sont acoustiquement discrets.

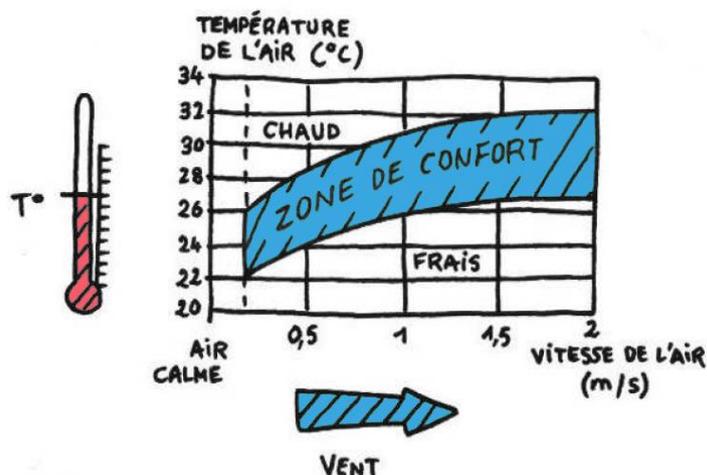


Figure 26 – Impact de la vitesse de l'air sur le confort en cas de température élevée. Source : guide Brise 2025

Pour être le plus efficaces possible, ces brasseurs doivent être **correctement dimensionnés** en puissance, en diamètre et en quantité par rapport au volume, à la géométrie et aux éléments constructifs de la pièce à traiter, à l'usage prévu et à la physiologie des occupants. Par ailleurs, il convient de respecter les distances

²² Cf. diagramme de Givoni (voir partie 1.2 du présent rapport)

recommandées avec le plafond, les murs et les autres brasseurs installés. **Plusieurs retours d'expérience médiocres s'expliquent par une densité trop faible des brasseurs au regard de l'espace à ventiler.** Leur calepinage est donc un compromis entre le confort souhaité et le budget disponible.

Le projet de recherche Brasse (Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité) financé par l'Ademe

Le projet a permis d'obtenir une vision globale de l'utilisation des brasseurs dans des bâtiments de typologies différentes. Parmi les points relevés concernant l'usage peuvent être cités :

- **Mode hiver /mode été** : certains usagers n'ont pas connaissance du mode hiver. Les économies d'énergie de chauffage ne sont donc pas réalisées. Il a par exemple été constaté dans une salle polyvalente des brasseurs qui tournaient en mode hiver toute l'année, car le changement de mode se fait individuellement sur chaque brasseur d'air et que personne n'a été chargé de le faire. Cela produit chez les usagers une impression de sous-performance des brasseurs d'air, voire d'inefficacité.
- **Aération** : l'ouverture de fenêtres est perçue globalement comme un moyen efficace de rafraîchissement par les usagers, en complément de l'utilisation des brasseurs d'air, et ce, malgré des températures élevées à l'extérieur. Cela est parfois contreproductif, mais s'explique, dans certains cas, par l'absence d'une ventilation nocturne naturelle et l'absence de déchargement thermique des locaux en période nocturne.
- **Appropriation des outils de commande** (accessibilité, usage de différentes vitesses) : La plupart des interrogés témoignent d'une bonne appropriation des commandes. Aucune préférence n'a été exprimée entre boîtier et télécommande.
- **Acoustique** : d'une manière générale, l'effet acoustique des brasseurs d'air n'est pas gênant pour les usagers. Une mauvaise fixation des brasseurs peut générer des bruits non contrôlés ainsi qu'une sensation d'insécurité.

En outre, leur hauteur d'installation présente également un impact sur leur efficacité. Pour des hauteurs sous plafond supérieures à 3 mètres, il conviendra d'étudier la possibilité d'installer les brasseurs de façon que les pales soient positionnées **à 3 mètres du sol au maximum**. En revanche la hauteur minimale recommandée des pales est de 2,5 mètres pour des raisons de sécurité. Cette hauteur peut être revue à la baisse, jusqu'à 2,2 mètres, dans des cas particuliers.

Les brasseurs d'air ne présentent pas de risques s'ils sont mis en œuvre dans le respect des règles de l'art. Ils doivent notamment être fixés dans les éléments structurels du bâtiment ; une fixation soignée aura un impact à la fois sur la sécurité et l'acoustique. Par ailleurs, un brasseur d'air de grand diamètre engendrera moins d'inconfort acoustique qu'un brasseur plus petit.

Cependant, d'autres points de vigilance doivent être considérés pour une installation et une utilisation optimales, tels que les emplacements de l'éclairage notamment (le passage des pales devant un luminaire serait source d'inconfort), et ils doivent pouvoir être arrêtés en cas de déclenchement du désenfumage (idéalement, ils peuvent être asservis au système de sécurité incendie) pour respecter le Code du travail et le règlement sécurité contre l'incendie dans certaines zones des ERP.

Les brasseurs d'air présentent d'autres avantages que leur action sur la surchauffe. D'une part, ils offrent une protection contre les moustiques, perturbés par les flux d'air. Ensuite, ils répartissent le CO₂ et l'humidité expirée dans tout le volume, évitant ainsi que ceux-ci se concentrent principalement à proximité de leur source

d'émission et donc des occupants. La qualité de l'air globale est même améliorée²³ grâce à ces appareils lorsque les usagers peuvent se permettre d'ouvrir les fenêtres (contrairement à la climatisation qui requiert de garder les fenêtres fermées).

Les brasseurs d'air : un équipement incontournable

Au regard de la climatisation, les brasseurs permettent des économies d'énergie (et donc financières) significatives pour l'utilisateur ou maître d'œuvre avec une consommation spécifique de l'ordre de moins de 1 kWh/m²/an, tout en lissant les besoins électriques. Dans certains cas, leur usage permet de se passer de climatisation, ou bien de réduire sensiblement son utilisation (déclenchement retardé, températures de consignes plus élevées de plusieurs degrés), ce qui permet d'allonger la durée de vie du climatiseur.

« L'énergie la moins impactante est celle que l'on ne consomme pas. L'idée sur laquelle nous fondons ce guide [Brise sur les brasseurs d'air] est de réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service et un même confort. Limiter notre consommation reste une des meilleures solutions pour un futur vivable. La sobriété énergétique n'est pas un retour en arrière, elle est une utilisation plus pérenne, plus ingénieuse, plus éclairée de l'énergie : il s'agit d'apporter la bonne solution énergétique, dans la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment. »

Citation du guide Brise

Le choix d'appareils de qualité avec plusieurs vitesses possibles contrôlées par l'occupant et un impact acoustique performant est recommandé. Des commandes aisément accessibles aux occupants permettront le meilleur usage.

Enfin, de même que pour tout autre système, il est fortement recommandé de vérifier le bon fonctionnement et la performance des brasseurs d'air à la livraison, et d'optimiser le réglage des vitesses à cette occasion. Le guide Brise²⁴ préconise que soient vérifiées la distribution des vitesses d'air pour chaque palier de réglage de vitesse (depuis le centre jusqu'à 3 mètres de rayon), les puissances électriques, l'absence d'oscillation importante ou de bruit parasite.

²³ Source : Brise, [Guide technique des brasseurs d'air](https://guide-brise.org/), <https://guide-brise.org/>

²⁴ Brise, [Guide technique des brasseurs d'air](https://guide-brise.org/), <https://guide-brise.org/>

Bilan de l'extension de l'école Laborde à Lyon et du traitement du confort d'été²⁵

La maîtrise d'œuvre de ce projet livré en 2014 a eu l'opportunité de revenir dans cette école en 2021 et de faire un retour d'expérience en réalisant des mesures et en interrogeant la maîtrise d'ouvrage (services Éducation, Bâtiment, Entretien...), les enseignants, les élèves, le personnel de cantine. Cette école avait été conçue dans une volonté de prendre en compte le confort d'été, avec une approche bioclimatique malgré une situation en milieu urbain très contrainte (axes routiers). Les retours des occupants sur les différents systèmes permettent de tirer des leçons intéressantes.

- Globalement, le confort d'été est estimé correct, excepté sur un bureau et à la cantine.
- Les brasseurs d'air sont plébiscités par les enseignants et les autres personnels de l'école car très faciles à utiliser.
- Les petits ouvrants en allège et les ouvrants sur le couloir permettent la circulation de l'air de manière traversante, mais pas de manière suffisante selon les occupants. Ces ouvrants n'étaient pas ouverts la nuit du fait des horaires de travail du gardien (terminait à 17 heures, heure à laquelle l'air extérieur était encore trop chaud). Depuis, ses horaires ont été modifiés.



Figure 33 – Classes équipées de brasseurs d'air à l'école Laborde à Lyon – ©Robert Celaire et Fabienne Boyer Marcoux

Pour aller plus loin sur des préconisations opérationnelles : [guide Brise](#)

Les brumisateurs

Le brumisateur fonctionne en diffusant de fines gouttelettes d'eau dans l'air, qui s'évaporent rapidement et absorbent la chaleur ambiante, abaissant ainsi la température de l'air et favorisant une sensation de fraîcheur.

Le brumisateur sur ventilateur est efficace, car il combine la ventilation et la brumisation pour un effet rafraîchissant optimal. Cependant, son efficacité peut être limitée lorsque le taux d'humidité de l'air est élevé (climat tropical, temps orageux...).

²⁵ Témoignage de Robert Celaire (bureau d'études techniques) et Fabienne Boyer Marcoux (dans le cadre de son activité d'architecte associée et directrice d'étude chez Tekhnê architectes) recueilli lors du colloque Batifrais en septembre 2021.

Baisser la température ambiante (mesurée)

Les systèmes passifs : les puits climatiques

Les systèmes de rafraîchissement passifs consomment peu ou pas d'énergie. La surventilation nocturne (ou free-cooling, abordée partie 3.4), ou les puits climatiques entrent dans cette catégorie.

Les **puits climatiques** (provençaux ou canadiens) utilisent l'inertie du sol pour rafraîchir un bâtiment en période chaude. Ils acheminent de l'air frais via une gaine souterraine. De ce fait, le risque radon sera un point de vigilance²⁶.

Ils ne seront pas développés dans ce guide parce qu'il s'agit de travaux de grande envergure.

Les systèmes actifs thermodynamiques

La climatisation

La climatisation est un système qui permet de modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques (température, humidité) d'un local. Elle garantit la production d'un certain niveau de froid, permettant d'abaisser la température d'une pièce, indépendamment des conditions extérieures.

Les systèmes les plus répandus pour climatiser un bâtiment sont les systèmes par compression de vapeur, utilisant un fluide frigorigène. Le principe thermodynamique à la base du fonctionnement de cette climatisation repose sur le transfert de chaleur (ou échange de calories) via le cycle frigorifique. L'objectif est de prélever de la chaleur dans le bâtiment (milieu à refroidir) et de la rejeter à l'extérieur. On retrouvera dans les systèmes utilisant cette technologie :

- les systèmes à détente directe ou Pompes à Chaleur (PAC) air/ air comme les climatiseurs mobiles, mono-splits ou encore multi-splits²⁷ que l'on retrouve souvent installés dans les logements ou petits tertiaires. Mais aussi les VRV ou DRV, qui ont des puissances thermiques plus importantes et qui sont installés dans les bâtiments tertiaires plus grands.
- les systèmes air/ eau comme les PAC réversibles/ groupes froids ;
- Les systèmes de PAC eau/ eau comme les PAC géothermique.

Bien que partageant un principe physique identique, ces équipements se distinguent soit par le milieu dans lequel la chaleur est rejetée, soit par leur mode de distribution des frigorifiques dans le bâtiment, ce qui a un impact important sur les types d'émetteurs utilisés et la conception des réseaux.

Ainsi, les PAC eau/eau rejettent la chaleur dans un milieu liquide : par exemple, dans les systèmes de PAC géothermiques, la chaleur est transférée au sol via des sondes géothermiques verticales ou horizontales équipées d'un réseau d'eau. En revanche, les PAC air/eau et air/air rejettent la chaleur extraite du bâtiment dans l'air extérieur.

La principale différence entre les PAC air/eau et air/air réside dans le fluide caloporteur utilisé pour distribuer l'énergie dans le bâtiment. Dans le cas des PAC air/air, le fluide frigorigène circule directement jusqu'aux unités terminales situées à l'intérieur du bâtiment. À l'inverse, dans les PAC air/eau, c'est l'eau qui transporte les frigorifiques ou les calories vers les émetteurs (radiateurs, planchers rafraîchissants, ventilo-convecteurs, etc.).

Les systèmes air/eau nécessitent généralement une quantité de fluide frigorigène plus faible, ce qui peut représenter un avantage environnemental et réglementaire.

- les systèmes de PAC eau/ eau comme les PAC géothermiques.

²⁶ Le radon est un gaz radioactif naturellement présent dans le sol. Le potentiel radon de la commune est accessible depuis le [site de l'IRSN](#). Pour un puits climatique, la présence de radon requiert une installation parfaitement étanche entre la prise d'air extérieure et l'arrivée dans le bâtiment (le passage du conduit doit être correctement comblé avec un mastic).

²⁷ Le système de climatisation split est composé d'une unité extérieure et d'une unité (monosplit) ou plusieurs unités intérieures (multisplit : une installation pour un ensemble de pièces).

Le fonctionnement du cycle thermodynamique

Évaporation du fluide : le fluide frigorigène à basse pression absorbe la chaleur de l'air intérieur. Il s'évapore en captant cette chaleur en produisant un effet de refroidissement.

Compression : le fluide frigorigène est aspiré et comprimé, ce qui augmente sa pression et sa température.

Condensation : le fluide (sous forme de gaz) chaud passe dans un condenseur où il rejette la chaleur à l'extérieur. Il redevient liquide.

Détente : le fluide frigorigène passe dans un détendeur, sa pression chute, il se refroidit fortement, et retourne vers l'évaporateur pour recommencer le cycle.

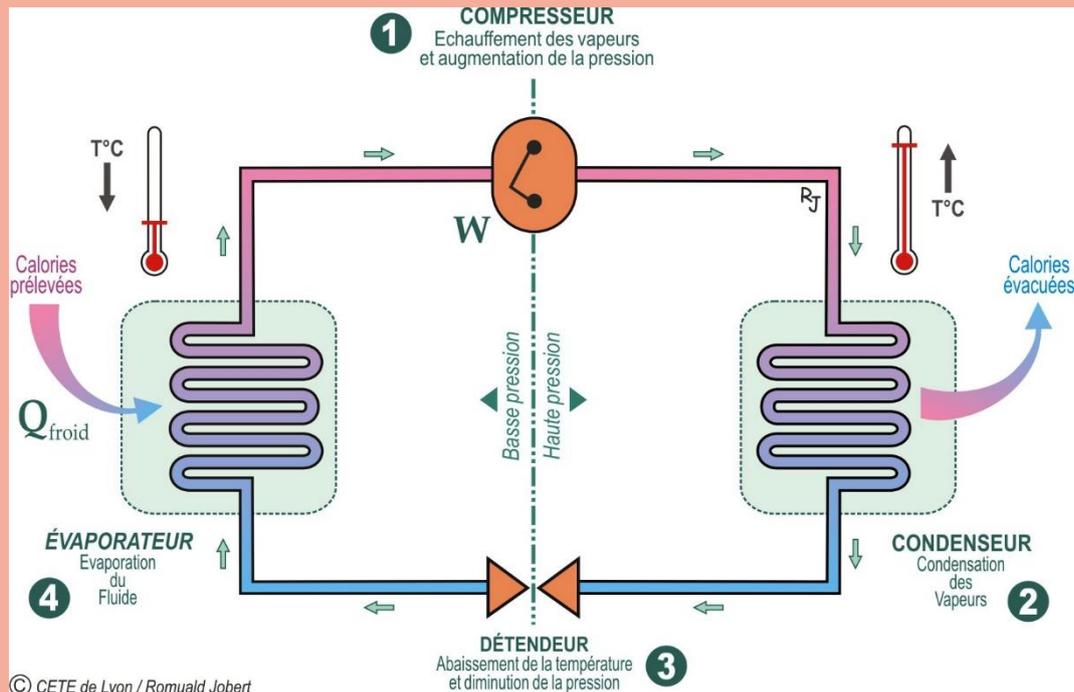


Figure 27 – Principe d'une climatisation – ©Cerema

En termes d'usage, d'entretien et de maintenance, la vigilance devra porter sur les points suivants :

- **la température de consigne** : il est recommandé **d'éviter un contraste trop important entre l'intérieur et l'extérieur** du bâtiment en **maintenant une différence maximale de température de 5 à 7 ° C** (et dans tous les cas, de ne pas climatiser à une température inférieure à 26 °C). Cela concourt à économiser significativement l'énergie, à préserver la santé des utilisateurs du bâtiment et améliorer la performance du matériel. Selon l'Ademe, régler la climatisation à 26 °C au lieu de 23 °C permettrait de diviser la consommation d'électricité d'un logement par 4,2 à Paris, 3 à Lyon et 2,5 à Montpellier !²⁸ ;
- **la présence et le bon état du calorifugeage des réseaux froids** ;
- **la sensibilisation et l'adéquation des usages** : il est important de sensibiliser les utilisateurs (enseignants, Atsem, animateurs périscolaires) à une gestion raisonnée de la climatisation : fermer les ouvertures lors de son utilisation, l'éteindre lorsque la pièce est inoccupée (fin de la sieste, pause méridienne ou fin de la journée), ne l'utiliser qu'en dernier recours... Expliquer aux occupants comment fonctionne une climatisation est nécessaire pour éviter les pratiques inadaptées : par exemple, **il est inutile de choisir la température la plus basse pour atteindre plus rapidement son confort** ;

²⁸ [Climatisation, comment limiter la consommation de l'électricité ?](#) – Ademe.

« Les “clims” sont ainsi faites que plus la consigne est basse, moins elles produisent de froid : ne pas confondre température et quantité de froid produit (il vaut mieux produire beaucoup de froid à 25 °C que pas beaucoup de froid à 15 °C !) » (source : CLIM'ECO²⁹) ;

- **l'entretien régulier** pour prolonger la durée de vie, économiser sur la consommation électrique et préserver la qualité de l'air intérieur : certaines interventions peuvent être réalisées facilement, comme le nettoyage ou le changement des filtres et des parties d'échange avec l'air ;
- en cas de système de ventilation peu efficace, les pratiques d'aération mises en place en hiver pour assurer la qualité de l'air doivent être maintenues.

Il sera nécessaire de faire appel à un professionnel pour assurer la maintenance. Ces systèmes peuvent présenter des pannes non visibles (par exemple perte de fluide frigorigène) et continuer de fonctionner. Il consomme alors de l'énergie en pure perte. Par ailleurs, l'encrassement des composants peut engendrer une perte d'efficacité du système et donc une consommation énergétique accrue.

En fonction de la puissance et des caractéristiques de l'installation, des entretiens et contrôles peuvent être obligatoires. Ainsi, une vérification quinquennale des systèmes thermodynamiques est obligatoire dès lors que leur puissance cumulée au sein d'un même bâtiment est supérieure à 70 kW³⁰.

Si l'utilisation de la climatisation semble une manière simple d'améliorer le confort des occupants, cette solution présente trois inconvénients très problématiques :

- une hausse importante de la consommation d'énergie : les systèmes de refroidissements consomment 10 % de l'électricité mondiale et sont responsables de plus de 12 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'après l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ;
- un impact des fluides frigorigènes (CFC, HFC) qui ont un fort pouvoir de réchauffement global, de 3 000 à 4 000 fois supérieur à celui du CO₂ (Ademe, 2018) lorsqu'on a affaire à une fuite des circuits des climatiseurs ou à leur fin de vie non gérée par une filière. Cependant, de nouveaux fluides moins émetteurs commencent à être utilisés par les fabricants suite à l'adoption de la réglementation européenne F-gas. Il est donc important de choisir les équipements avec les fluides les moins impactants.
- une augmentation de la température de l'air extérieur par les rejets d'air chaud hors des bâtiments et donc l'accentuation en ville du phénomène d'îlots de chaleur urbain. Actuellement, ces rejets *« peuvent augmenter les températures dans la rue jusqu'à 2 °C, ce qui rend la canicule plus grave pour les personnes qui n'ont pas de climatiseurs chez elles...³¹ »*.

L'usage de la climatisation contribue donc au dérèglement climatique.

Dans ce contexte, il est recommandé de n'utiliser la climatisation qu'en tout dernier recours, après avoir réduit au maximum les apports thermiques internes (usage des appareils), privilégié les méthodes passives de rafraîchissement et protégé le bâtiment des apports solaires. Chaque bâtiment étant différent, les solutions seront à choisir au cas par cas, en adoptant une réflexion globale sur le bâtiment.

Une réflexion sur le choix des locaux à climatiser pourra conduire à limiter la climatisation à une zone « refuge » plutôt que de climatiser tout le bâtiment pour un usage plus raisonné.

Dans le cas où l'utilisation de la climatisation pourrait être envisagée dans le futur, il conviendra d'anticiper sa potentielle installation lors de la construction ou de la rénovation d'une école pour éviter des surcoûts d'installation ultérieurs³².

L'installation de climatiseurs n'exclut pas les bonnes pratiques de l'utilisation du rafraîchissement passif.

²⁹ Source : « Guide sur les CLIM'ECO gestes – Pour limiter la consommation énergétique de la climatisation » – Octobre 2020

³⁰ Sources : Arrêté du 24 juillet 2020 relatif à l'entretien des systèmes thermodynamiques dont la puissance nominale est comprise entre 4 kW et 70 kW.

³¹ Vincent Viguié, chercheur au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Cired).

³² Comme par exemple en anticipant le positionnement des futures zones techniques et prévoyant des tailles de gaines techniques suffisantes.

La climatisation : une solution impactant la santé³³

Outre leur impact environnemental problématique, les systèmes de climatisation peuvent impacter la santé des occupants des bâtiments de différentes façons.

- **Les chocs thermiques** : le corps humain est capable de maintenir sa température interne grâce à un mécanisme régulateur lorsqu'il n'est pas soumis à des variations de température d'ambiance trop rapides. Une différence de température trop importante entre l'intérieur et l'extérieur peut exposer l'organisme à un choc thermique, dont les conséquences vont des inflammations et infections des voies respiratoires supérieures et une sécheresse des muqueuses aux problèmes cardiaques.
- **Une mauvaise qualité de l'air** en cas de système de ventilation inadapté ou mal entretenu et de pratiques d'aération limitées (volonté de conserver la fraîcheur dans le bâtiment).
- **Une réduction des capacités d'adaptation** physiologique (impact sur la capacité d'acclimatation naturelle du corps), psychologique (attente et accoutumance) et physique (adaptation vestimentaire) : il a été démontré que les occupants de bâtiments ventilés naturellement avaient une tolérance à des températures plus élevées que les occupants de bâtiments climatisés³⁴. Ainsi, « *la climatisation des salles de classe peut donc diminuer l'adaptabilité des élèves aux variations thermiques auxquelles ils peuvent être ensuite soumis dans certaines conditions climatiques* » (S. Déoux).
- **Une nuisance sonore** : le bruit provoqué par la climatisation peut s'avérer gênante pour les apprentissages.

Les techniques de rafraîchissement alternatives

Ces techniques de rafraîchissement peuvent se décomposer en deux types :

- les systèmes thermodynamiques, comme les PAC géothermiques, où la pompe à chaleur rejette la chaleur dans le sous-sol plutôt que dans l'air extérieur. Ce système est plus efficace qu'une climatisation conventionnelle car il bénéficie de la fraîcheur du sous-sol. Pour ne pas dégrader le sol, ces systèmes doivent être réversibles c'est-à-dire puiser la chaleur du sol en hiver pour chauffer et renvoyer la chaleur des bâtiments dans le sol en été. Ces systèmes ont aussi des meilleurs rendements énergétiques que les systèmes à air.
- Les systèmes passifs ou semi-passifs, avec un usage modéré d'énergie et sans nécessiter de fluides frigorigènes, comme le **rafraîchissement adiabatique**. Ce terme regroupe plusieurs techniques de rafraîchissement de l'air par évaporation de l'eau. Le principe : au contact de l'air chaud, l'eau s'évapore et abaisse ainsi la température en absorbant les calories, sans consommation supplémentaire d'énergie. Il existe différents systèmes de rafraîchissement adiabatique :
 - le système adiabatique indirect rafraîchit sans humidifier l'air entrant et nécessite une ventilation double-flux ;
 - le système adiabatique direct où l'air introduit par l'extérieur, mis en contact avec l'eau, se rafraîchit et est ensuite soufflé directement dans les locaux. Ce type d'installation nécessite une

³³ S. Déoux mentionne une étude réalisée à Singapour qui met en évidence que, malgré des températures dans des locaux ventilés naturellement d'environ 3 °C supérieures à celle des locaux climatisés, la gêne thermique y était moins importante que prévu. D'autres études ont également montré que les personnes qui vivent dans des locaux ventilés naturellement réagissent différemment aux environnements chauds que celles évoluant dans des milieux climatisés, avec une capacité de régulation physiologique aux chocs thermiques bien plus importante.

bonne ventilation pour éviter que l'hygrométrie n'augmente trop et puisse provoquer un inconfort ;

- un système mixte, couplant les systèmes directs et indirects.

Groupe scolaire Simone-Veil à Juvignac (34) : une réhabilitation pour améliorer le confort d'été

Avec une enveloppe budgétaire serrée, le projet s'est tourné vers la sobriété de moyens (facilité d'entretien maintenance pour les services municipaux) et la créativité. L'école était peu isolée, et non protégée du soleil direct (présence de rideaux intérieurs), et ne comportait pas de système de ventilation.

Pour un coût total de 362 000 € HT (2019), les travaux ont consisté en :

- l'installation de protections solaires extérieures motorisés, types stores screen, avec coulisses latérales ;
- la création d'une ventilation double flux dans chaque salle de classe et d'activités périscolaires ;
- la mise en place d'un rafraîchissement adiabatique connecté à la centrale de traitement d'air, permettant d'abaisser la température de l'air neuf via l'échangeur.

Une instrumentation des locaux a permis de quantifier l'impact positif des protections solaires au regard de la situation initiale avec un gain de 6 à 8° sur la température ambiante (lorsque les stores sont baissés toute la journée). La ventilation associée à un rafraîchissement adiabatique a permis de gagner jusqu'à 2,5° supplémentaires.

Pour en savoir plus : <https://www.alec-montpellier.org/tous-les-evenements/atelier-technique/une-ecole-sans-clim-est-ce-possible/>

3.6 L'utilisation du bâtiment et les pratiques

L'utilisation du bâtiment, de ses équipements, l'organisation et les pratiques des occupants ont un impact sur la surchauffe des locaux et le confort. Il est nécessaire d'expliquer aux occupants qu'ils ont un rôle à jouer dans l'amélioration du confort par leurs pratiques, sans surévaluer ce rôle.

C'est bien la combinaison d'un ensemble d'actions qui doit être envisagée : actions techniques, actions d'usage et changement de pratiques, permises par des investissements, une organisation nouvelle des ressources humaines, une implication de chacun...

L'action des occupants

L'action des occupants est à rechercher, mais elle doit être expliquée afin d'être comprise. Les occupants accepteront d'avoir une vigilance et une action spécifiques s'ils en perçoivent très concrètement les effets bénéfiques :

- ouverture et fermeture des portes et fenêtres en fonction de la chaleur extérieure ;
- manipulation des protections solaires ;
- extinction des appareils produisant de la chaleur dès qu'ils ne sont plus utilisés ;
- réorganisation du mobilier et manipulation des rideaux intérieurs afin de faciliter la circulation de l'air ;
- etc.

Partager les bonnes pratiques peut nécessiter une démonstration in situ permettant également au gestionnaire de s'assurer que les équipements sont fonctionnels. Par exemple, expliquer quand fermer les fenêtres et baisser les stores en fonction des expositions, tout en s'assurant que les protections solaires sont en bon état.

Impliquer les occupants depuis le diagnostic du confort jusqu'à la recherche de bonnes pratiques est un bon moyen d'aboutir à des solutions adaptées et appropriées³⁵.

Par exemple, l'élaboration d'un protocole en cas de forte chaleur, indiquant le rôle de chacun, est l'occasion d'impliquer l'ensemble des parties prenantes³⁶.

Ainsi, une bonne coordination avec le personnel de la collectivité (animateurs périscolaires, gardien, technicien...) doit être recherchée afin de déterminer notamment qui est le premier et/ou le dernier occupant de la journée pour chaque local et les actions à mettre en place : quelles fenêtres peuvent être laissées ouvertes, laisser les portes intérieures ouvertes pour faciliter la circulation, etc.

L'adaptation de l'habillement

Adapter son habillement nécessite d'aller parfois à l'encontre de phénomènes sociaux comme la mode ou les conventions sociales.

Il sera nécessaire de communiquer en direction des familles afin de les conseiller sur les tenues adaptées en période de forte chaleur : éviter les matières synthétiques au profit des matières naturelles (lin, coton), favoriser les vêtements amples qui permettent à l'air de circuler, choisir des couleurs claires, couvrir les parties exposées de la peau, prévoir un couvre-chef...

Par ailleurs, vaporiser de l'eau sur les vêtements pour les humidifier permet le rafraîchissement (l'évaporation de l'eau va consommer des calories).

L'adaptation des horaires de classe

Adapter les horaires de classe afin d'éviter les heures les plus chaudes de l'après-midi, lorsque le bâtiment a emmagasiné le maximum de chaleur, peut être une solution à envisager.

³⁵ Voir la partie 2.2 sur le diagnostic.

³⁶ Pour établir un protocole, il est possible de s'inspirer des [recommandations aux directeurs d'école et chefs d'établissement pour prévenir les effets de la canicule](#) émises par le ministère de l'Éducation nationale.

Depuis la crise sanitaire liée à l'épidémie de Covid-19, les écoles et établissements scolaires doivent élaborer un plan de continuité pédagogique qui s'applique à toute situation nécessitant des mesures collectives ciblées de fermeture ou de limitation d'accès aux écoles et établissements. Il s'applique donc d'ores et déjà, notamment, en cas d'épisode de forte chaleur qui conduirait à une mesure de fermeture ou de limitation d'accès³⁷.

En juin 2024, la ville de Montélimar a expérimenté sur trois écoles de nouveaux horaires, en avançant le début de la classe à 8 heures et raccourcissant la pause méridienne afin que les élèves puissent rentrer chez eux à 15 heures (au lieu de 16 h 30). La moitié des élèves rentrent ensuite chez eux tandis que l'autre moitié sont accueillis en périscolaire dans le réfectoire, seul local à être climatisé. Cette solution, si elle présente un vrai avantage en termes d'apprentissage, peut se heurter à des difficultés organisationnelles (services de cantine à organiser sur un temps plus court, organisation des parents et des modes de garde...)³⁸.

Utiliser les espaces de l'école de manière différenciée

Il peut être intéressant de pouvoir disposer d'un thermomètre par salle et de vérifier régulièrement la température (y compris des structures de toile extérieures). Une solution de « repli » dans un endroit « frais » (éventuellement climatisé) est à envisager : salle de motricité, par exemple. Cependant, il n'y aura pas de locaux de repli pour accueillir tous les élèves de l'école au même moment : la solution est à rechercher à l'extérieur (dans la cour ou au-delà).

En collège et lycée, l'utilisation différenciée des espaces est peut-être plus facile, le nombre de salles de classe étant supérieur au nombre de classes d'élèves. Il pourrait être envisagé de privilégier les locaux les plus frais (au nord, au rez-de-chaussée, bien ventilés...). C'est ce qui est d'ores et déjà recommandé pour l'accueil des examens.

L'adaptation des pratiques éducatives : l'école hors l'école

En cas de forte chaleur, l'enseignant peut faire classe à l'extérieur du bâtiment école. Cela peut se réaliser dans la cour si celle-ci permet une ambiance plus fraîche : le ressenti est amélioré du fait de l'évapotranspiration des plantes, de l'ombre des arbres et de la brise.

Cette option peut être favorisée par l'aménagement de mobiliers adaptés : gradins, tableau extérieur, rondins...

Cela peut également se faire dans un parc public ou en forêt.

Dans la cour ou en forêt, l'école « du dehors » a de nombreuses vertus. Les bienfaits du contact de la nature sur la santé, tant mentale que physique, sont démontrés scientifiquement par bon nombre d'études.

- Le temps passé dehors apaise, réduit le stress et l'agressivité, améliore la concentration des enfants, favorise l'autodiscipline, la motivation et les engagements dans les apprentissages, ainsi que la coopération entre les élèves, et la créativité³⁹.
- Les enfants les plus exposés à la nature (y compris en ville) ont une meilleure mémoire de travail, soit une des fonctions primordiales permettant d'apprendre⁴⁰.

Par ailleurs, la nature et la biodiversité constituent un vecteur pédagogique formidable pour les enfants : ils peuvent y décrire ce qu'ils voient, compter des plantes, découvrir des insectes... Cela permet en outre l'interdisciplinarité et le développement d'une conscience environnementale.

³⁷ Source : Mesure 28 « Assurer la continuité de l'enseignement scolaire et de l'accueil des jeunes enfants face au réchauffement climatique » du 3^e PNACC (Plan national d'adaptation au changement climatique) 2024.

³⁸ Source : https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/crise-climatique/reportage-rechauffement-climatique-a-montelimar-de-nouveaux-horaires-de-classe-pour-s-adapter-aux-canicules_6631767.html

³⁹ Do experiences with nature promote learning? Converging evidence of a cause-and-effect relationship – Ming Kuo, Michael Barnes, Catherine Jordan, Mini Review article Front. Psychol., 19 February 2019, Sec. Environmental Psychology, vol. 10 – 2019.

⁴⁰ Green and Blue Spaces and Behavioral Development in Barcelona Schoolchildren: The BREATHE Project.

Authors: Elmira Amoly, Payam Dadvand, Joan Fornas, Mónica López-Vicente, Xavier Basagaña, Jordi Julvez, Mar Alvarez-Pedrerol, Mark J. Nieuwenhuijsen, and Jordi - Published In Environmental Health Perspectives, vol. 122 • Issue 12, December 2014.

L'enseignement en dehors de l'école peut également se faire dans d'autres lieux publics : musées, médiathèque...

Il peut être soutenu par la collectivité : accorder le droit d'utiliser un parc par exemple ou une salle de la médiathèque, améliorer la sécurité piétonne et favoriser l'ombrage depuis l'école vers les parcs de la ville ou la forêt, mettre à disposition un terrain...

Ainsi, il est possible de créer des parcours fraîcheur intégrant les écoles et maillant la ville : ce sont des parcours optimisés pour emprunter le plus de rues ombragées et passer au maximum par les îlots de fraîcheur. Cela a été réalisé en 2024 à Marseille dans un objectif touristique avec la création de deux parcours reliant les principaux sites touristiques.

Pompaire (79) : Classe à l'extérieur sur un terrain mis à disposition de la commune

Les enseignantes de l'école Louis-Canis pratiquent la classe à l'extérieur une demi-journée par semaine depuis 2009, sur un terrain mis à disposition par la commune. Cet espace accueille tous types d'apprentissage : découverte de la biodiversité, jeux, mais aussi français et mathématiques. Depuis 2021, un tout autre type d'activité est proposé par deux enseignantes, un intervenant bénévole et une personne en service civique : la construction d'une « cabane au jardin ». Les classes de CE2-CM1 et CM1-CM2 ont activement participé à créer cet espace qui servira à la fois d'abri en cas de mauvais temps et de salle d'activité : choix des matériaux, tassement du terrain, sciage et plantage de clous, construction de petit mobilier... Les enfants ont appris de nombreuses choses concrètes, en plus d'avoir la fierté de construire eux-mêmes un équipement qui leur servira.

Toutefois, en cas de très fortes chaleurs, il devient délicat d'emmener une classe en sortie, le temps de trajet pouvant être éprouvant. Le ministère de l'Éducation nationale donne pour consigne aux directeurs et directrices d'école, ainsi qu'aux chefs d'établissements scolaires de « réduire les activités physiques et supprimer les sorties aux heures les plus chaudes ».

4 CONCLUSION

Face à la surchauffe dans les écoles qui devient un sujet de plus en plus pressant et généralisé, les collectivités doivent agir.

Les maîtres d'ouvrage sont confrontés à un double défi : à la fois agir en urgence pour répondre aux situations les plus préoccupantes, mais aussi réfléchir et mettre en place une stratégie d'action sur l'ensemble de leur parc scolaire, intégrant la rénovation globale et complète des écoles.

Dans les deux cas, **la phase de diagnostic est essentielle** car les solutions à mettre en œuvre seront différentes pour chaque école en fonction de son environnement (au sein d'un îlot de chaleur urbain, d'une zone de surchauffe urbaine ou au contraire d'une zone de fraîcheur) et de ses caractéristiques architecturales (orientation, surfaces vitrées, inertie, bâtiment traversant ou pas...).

Il est important dans tous les cas **d'adopter une approche globale multi-échelle** afin de maximiser les effets : adapter le bâtiment, mais aussi la cour d'école, les abords de l'école, voire les itinéraires piétons permettant de se rendre en différents lieux stratégiques de la ville.

Il apparaît également **essentiel d'intégrer dans le projet les occupants** : enseignants, élèves, parents, responsables du périscolaire, responsables des espaces verts, et des services techniques... afin de choisir les actions qui seront les plus adaptées aux usages, aux ressources humaines et compétences techniques.

Une évolution des pratiques est à envisager, aussi bien du côté de la collectivité (par exemple prévoir d'allouer plus de moyens à l'entretien des cours d'école végétalisées, modifier les horaires du gardien pour ouvrir ou fermer les fenêtres la nuit) que des enseignants et des parents (par exemple, accepter que les cours déminéralisées soient plus salissantes pour les enfants).

Il apparaît également essentiel de **former les occupants et les utilisateurs des locaux à la gestion de la chaleur et aux équipements** à leur disposition : à quel moment de la journée est-il préférable de fermer les fenêtres, de baisser les volets, comment bien utiliser le brasseur d'air, etc.

Des organisations nouvelles sont à mettre en place et des expérimentations à lancer : adapter les horaires, faire l'école dans d'autres lieux climatisés ou dans des zones refuges, mettre en œuvre des solutions déroatoires de manière exceptionnelle...

Enfin, parmi l'éventail possible de solutions, il faut retenir qu'à ce jour, **les protections solaires et les brasseurs d'air sont identifiés comme les plus efficaces et les plus résilientes. Mais ces solutions doivent s'inscrire** dans une approche globale de traitement des surchauffes.

La pertinence de ces solutions doit être également analysée au regard de différents impacts pour le gestionnaire à travers le questionnement suivant :

- quelle est leur efficacité en période de fortes chaleurs ?
- sont-elles pénalisantes pour le confort thermique en période de froid ?
- sont-elles provisoires, pour répondre en urgence ? ou est-ce une solution long terme ?
- sont-elles faciles à mettre en œuvre ?
- sont-elles faciles d'entretien ? de maintenance ? (et les services concernés ont-ils les compétences nécessaires ?)
- nécessitent-elles l'action des occupants ? faut-il envisager une démonstration de leur utilisation in situ ?
- consomment-elles beaucoup d'énergie pour fonctionner ?
- sont-elles coûteuses (à l'installation ? à l'entretien ?)
- ...

Ce rapport fait l'état des principales solutions connues à ce jour. La performance de certaines solutions doit encore être justifiée par la mesure.

Les équipes du Cerema restent mobilisables pour identifier de nouvelles solutions.

5 ANNEXES

5.1 Bibliographie

- Jean-Michel Soubeyrou, Brigitte Dubuisson, Sebastien Bernus, Raphaëlle Samacoïts, Fabienne Rousset, Michel Schneider, Agathe Drouin, Thumette Madec, Marc Tardy, Lola Corre – (2024) « À quel Climat s'adapter en France selon la TRACC ? » – www.drias-climat.fr/
- Le 3^e Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) publié le 10 mars 2025 – Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche.
- S. Déoux, Impacts sanitaires des conditions climatiques des établissements scolaires sur le littoral de l'île de la Réunion, 2018-2019.
- Cerema : les fiches de retours d'expérience de réaménagement de cours d'école – Fiche n° 1 : Saint-Cloud ; Fiche n° 2 : Libourne ; Fiche n° 3 : Amanvillers ; Fiche n° 4 : Dunkerque.
- Plante & Cité ; Désimperméabiliser les villes. Guide opérationnel pour (re)découvrir les sols urbains – Christophe Schwartz (coord.), Véronique Beaujouan, Federico Broggin, Adeline Bulot, Jean Noël Consalès, Armand Corbel, Marie Cozzi, Robin Dagois, Hervé Daniel, Pierre David, Mathieu Gontier, Romain Goudon, Arnaud Herbreteau, Pierre Lasseigne, Maïwenn Lothodé, Jean-Christophe Louvet, Alexandre Moret, Stéphanie Ouvrard, Ludovic Perridy, Geoffroy Séré, Marlène Teixeira Da Silva, François Vadepiet, Claire Vieillard, Laure Vidal-Beaudet, 2024, 70 p.
- CAUE 75 : Des expériences dites de « cours Oasis » ont été menées à Paris par le CAUE 75 depuis 2018. Différentes ressources sont disponibles sur le site du CAUE 75 : <https://www.caue75.fr/content/ressources-cours-oasis>
- Métropole de Nantes ; Référentiel des cours d'école : https://metropole.nantes.fr/files/pdf/enfance-education-jeunesse/scolarite/referentiel_cours_ecoles.pdf
- Cerema ; Confort dans une salle de classe – Les effets croisés d'une vague de chaleur et de l'îlot de chaleur urbain ; rapport d'étude, octobre 2023.
- Envirobat BDM ; Conception des protections solaires – Principes généraux et retours d'expérience ; novembre 2022 .
- Robert Celaire, Laurent Séauve, Vincent Priori, Marjorie Sinczak – Brise – Guide des brasseurs d'air – Lauréat Ombrée (Programme inter Outre-Mer pour des bâtiments résilients et économes en énergie – www.guide-brise.org.
- Cerema – Écoles de demain : Rénover et construire autrement – 2023

5.2 Table des illustrations

Figure 1 – Température quotidienne de l'air à la surface du globe (https://pulse.climate.copernicus.eu/) Crédits : C35/ECMWF	10
Figure 2 –Températures moyennes en été à échéance 2030, 2050 et 2100 – © Météo-France 2024	11
Figure 3 : Les facteurs influençant le confort thermique ©Cerema.....	13
Figure 4 – Extension de la zone de confort thermique selon la vitesse de l'air. Source : Guide Brise 2025 – Adaptation ©Cerema	14
Figure 5 – Collège Jules-Ferry à Maisons-Alfort (94) – ©Cerema.....	18
Figure 6 – Outil « toile d'araignée du confort d'été » du Cerema.....	20
Figure 7 – Extrait du cahier de diagnostic CUBE.S – enquête confort	21
Figure 8 – Graphique issu de l'étude Infoma – ©Cerema	22
Figure 9 – Simulation solaire de l'école Trillades à Avignon dans le cadre de l'Appel à manifestation d'intérêt « Canicule dans les bâtiments publics » – ©Cerema.....	23
Figure 10 – Synthèse des actions pour limiter la surchauffe des bâtiments – ©Cerema Centre-Est, Romuald Jobert).....	24
Figure 11 – Verrière d'une école maternelle à Avignon – ©Cerema.....	26
Figure 12 – Cour d'école réaménagée à Chasse-sur-Rhône (38) – ©Cerema.....	28
Figure 13 – Ruisseau alimenté par une cuve de récupération d'eau de pluie dans la cour de l'école du Château à Chasse-sur-Rhône (38) – ©Cerema.....	30
Figure 14 –Trois types de façades végétalisées – ©Cerema	31
Figure 15 – Trois types de plantes grimpantes pouvant être envisagées pour végétaliser les façades des cours d'école : lierre – © J.Guespin, houblon – © J.Guespin, et glycine – © Cerema.....	32
Figure 16 – <i>Brosses pour décroter les pieds et point d'eau – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema....</i>	35
Figure 17 – <i>Espace en terre permettant aux enfants de creuser – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema</i>	35
Figure 18 – Cabane en osier réparée avec les enfants – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema.....	35
Figure 19 – Parcours sur rondins – École Paul-Bert à Lyon – ©Cerema.....	35
Figure 20 - Cour d'école réaménagée à Chasse-sur-Rhône (38) ©Cerema.....	36
Figure 21 – Un rideau intérieur apporte un peu de confort, mais laisse entrer une grande quantité de chaleur, visible à la caméra thermique – ©Cerema.....	38
Figure 22 – Approche simplifiée de la stratégie de protection à adopter en fonction de l'orientation du bâtiment – Source : envirobat BDM – Adaptation ©Cerema	39
Figure 23 – Groupe scolaire René-Bruyère à Aix-les-Bains : étagères à lumière – Crédits : ICMA/F. Delairon.....	39
Figure 24 – Brise-soleil fixes au collège Diderot à Sorgues (84) – ©Cerema	40
Figure 25 – Ouvrant de ventilation équipé d'une grille métallique anti-intrusion dans une école à Cannes (06) – ©Cerema.....	48
Figure 26 – Impact de la vitesse de l'air sur le confort en cas de température élevée. Source : guide Brise 2025	49
Figure 27 – <i>Principe d'une climatisation – ©Cerema</i>	54



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN