



CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique tout au long de l'année concerne aussi bien les questions d'usage que les enjeux de transition énergétique et de pérennité des installations et équipements techniques.

“ La thermorégulation de l'enfant se distingue de celle de l'adulte par des particularités morphologiques et physiologiques. Une ambiance thermique inadaptée des bâtiments accueillant des enfants peut se révéler bien plus inconfortable pour un enfant que pour un adulte.”

À DIRES D'EXPERTS...*

Le confort thermique peut être défini comme un état de bien-être ressenti dans un environnement dont la température est agréable et adaptée. Il dépend :

- de la température de l'environnement (air, murs, etc), des mouvements d'air et de l'hygrométrie,
- du métabolisme, de l'habillement, et de l'activité physique de chaque individu,
- de la sensibilité de chacun (aspect psychosociologique).

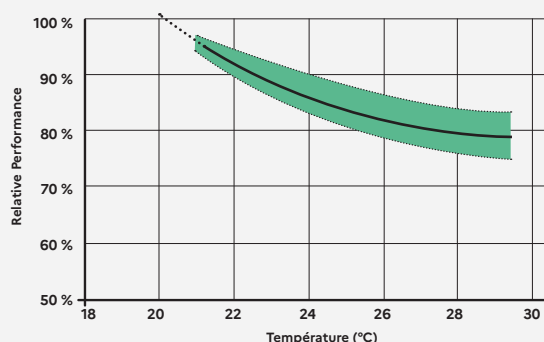
Au-delà d'un certain niveau de déséquilibre, l'individu ressent un inconfort. Assurer une sensation de chaleur en hiver et préserver des surchauffes en été est donc un **enjeu de bien-être** incontournable. Le confort d'été est devenu de plus en plus difficile à préserver du fait de la multiplication des épisodes de **fortes chaleurs et de canicule** et l'allongement de leur durée.

La prise en compte du confort d'hiver et d'été dans les écoles, collèges et lycées est directement lié aux **enjeux de la transition écologique** : limiter la consommation d'énergie, favoriser l'inertie thermique, enrayer les effets “îlots de chaleur”, conserver une certaine fraîcheur dans les locaux scolaires en été, etc., sont autant d'objectifs qui conduisent à concevoir autrement le confort thermique. Les enjeux environnementaux encouragent à privilégier des solutions économes, durables et les plus écologiques possibles.

CONFORT THERMIQUE ET RÉUSSITE SCOLAIRE

Selon les travaux de P. Wargocki menés en 2019, les performances scolaires des élèves diminuent lorsque la température des salles de classe augmente trop, et ce tant pour des opérations de calcul que pour des tests basés sur le langage.

TEMPÉRATURE ET PERFORMANCES SCOLAIRES**



* Source : Verbatim issu des groupes de travail réunis pour l'élaboration des guides «Bâtir l'Ecole». / **Source : Wargocki P and Porras-Salazar J-A (2019)

1. LES ATTENDUS, LES SOLUTIONS À PRIVILÉGIER

■ Mobiliser les principes de l'architecture bioclimatique

En fonction des **conditions climatiques** du territoire dans lequel s'insère le bâtiment scolaire, et de **leur évolution** projetée à l'horizon de 2050, les besoins pour atteindre des températures confortables en été comme en hiver diffèrent. L'organisation du **plan masse** et la **morphologie du bâti** constituent les deux premiers paramètres d'une architecture bioclimatique. Cette conception bioclimatique permet d'optimiser le confort dans les bâtiments sans nécessité d'y installer des dispositifs techniques complémentaires susceptibles d'augmenter les consommations énergétiques et les coûts. Elle se traduit en premier lieu par la recherche des orientations permettant de maîtriser simplement **les apports solaires** (nord et sud). Enfin, **la végétalisation des espaces extérieurs et du bâti** favorise significativement le confort : aménagement d'**îlots de fraîcheur** dans les cours, réalisation d'une **bande végétalisée** d'au moins 3 mètres autour des bâtiments, **toitures et murs végétalisés**...

ÉCOLE OLIVIER DE SERRES À PARIS (75)



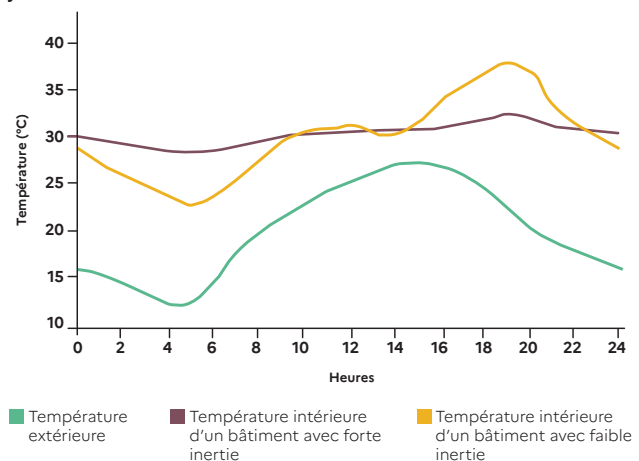
© JFS architectes

La cour de l'école est plantée d'arbres de hautes tiges et bénéficie de murs végétalisés.

Le travail sur l'enveloppe est le critère majeur de réussite d'une architecture bioclimatique. La **compacité** volumétrique du bâti et une bonne **inertie thermique** des matériaux de structure et des parois intérieures permettent de mieux gérer les flux de chaleur. En construction neuve, cela conduit à préconiser des modes constructifs mixtes (béton-bois, par exemple). En rénovation, il importe d'identifier le type de structure existante et d'augmenter autant que possible son inertie, en préservant l'accessibilité à la masse thermique des éléments de construction. **L'isolation thermique extérieure, plus performante**, est à privilégier. Toutefois, elle n'est pas toujours envisageable dans les opérations de réhabilitation. Dans les deux cas, le traitement des **ponts thermiques** doit être systématique, car ils peuvent représenter une déperdition énergétique importante.

EXEMPLE DE L'ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES INTÉRIEURES

Journée d'été dans un bâtiment à forte inertie et dans un bâtiment à faible inertie



Source : Energie+ © Bruxelles Environnement

Dans la conception des **façades, la part des surfaces vitrées selon les orientations** a un fort impact, ainsi que la part des façades ouvertes sur l'environnement extérieur. Le choix de **protections solaires** efficaces et du **type des vitrages** ou de la mise en œuvre d'une **façade double peau** font l'objet d'arbitrages pour créer une façade apte à réagir aux conditions climatiques. Croisant confort visuel et confort thermique, une réflexion sur les dispositifs de protection solaire s'avère indispensable. Ils évitent les phénomènes de surchauffe et d'apport solaire sans nuire à la luminosité de la pièce, à la sécurité du bâtiment (tenir compte des vents dominants en cas de tempête, cyclones...) ou encore à l'aération des locaux. Les dispositifs de **protections solaires extérieurs sont beaucoup plus efficaces**, et peuvent se coupler à une gestion de l'occultation s'ils sont mobiles.

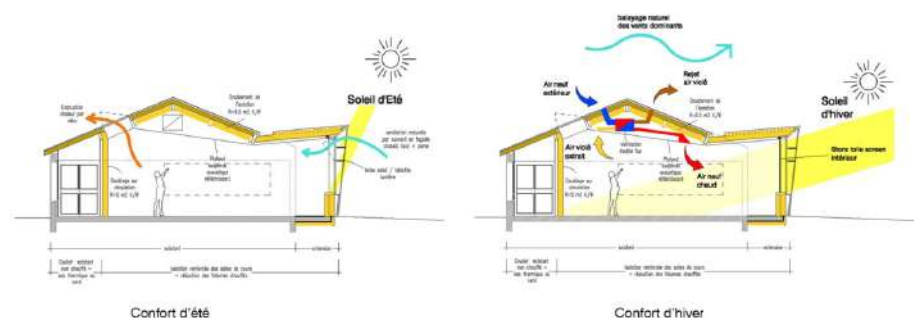
L'ÉCOLE DES CERISIERS À NAVAILLES ANGOS (64)



© Acta architecture

Les **qualités thermiques** du bâti ancien diffèrent fortement et conduisent à aborder la question du confort thermique au cas par cas. Les constructions datant d'**avant 1948** présentent souvent des performances très intéressantes, avec une inertie thermique forte et une enveloppe qui interagit par porosité avec son environnement. Les constructions issues de la période de **1948 à 1975** ont a contrario une faible inertie thermique et de grandes parois vitrées sans isolation qui entraînent des déperditions thermiques et des effets de paroi froide. **A partir de 1975**, les réglementations et les normes ont conduit à concevoir les ambiances intérieures de façon autonome en diminuant les interactions avec le contexte extérieur. Pour aboutir à une rénovation durable, il faut partir des qualités du bâti ancien et développer des solutions adaptées.

La conception de l'école intègre une réflexion sur les baies vitrées et les protections solaires (casquette doublée de stores extérieurs).



La rénovation a saisi l'opportunité d'un travail sur l'enveloppe du bâtiment pour optimiser la ventilation de l'établissement et maximiser l'apport en lumière naturelle dans les espaces d'apprentissage.

COLLÈGE PLOUËR-SUR-RANCE (22)



© Architecture Plurielle

A l'occasion de cette rénovation, le décalage des façades a également permis d'augmenter la surface des salles de classe.

DÉFINITIONS

Température opérative : température ressentie par l'occupant. Elle prend en compte la température de l'air dans la zone d'occupation et les effets de rayonnement des parois.

Humidité relative : elle exprime le rapport en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température de cet air et la quantité maximale d'eau que peut contenir cet air (saturation). Une augmentation de l'humidité relative s'accompagne d'une diminution de la température de l'air.

Inertie de stockage / déstockage : capacité d'un matériau à accumuler de la chaleur ou de la fraîcheur, puis à la restituer. L'inertie permet donc d'écarter, d'aplanir

les pics de température de jour, comme de nuit. La propriété physique associée est l'effusivité. Plus le matériau est dense, plus l'**effusivité** est grande.

Inertie de déphasage : pour traverser une paroi, le flux de chaleur met un temps plus ou moins long en fonction de la nature du matériau : c'est le déphasage. La propriété physique associée est la **diffusivité**.

Pont thermique : zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une moindre résistance thermique : liaisons murs-planchers, liaisons refends-façades, linteaux, jonctions de parois, liaisons tableau des baies et huisseries, appuis de baies, angles des murs...

■ Penser les installations techniques avec la visée des économies d'énergie

La conception et le **dimensionnement des installations de chauffage, de ventilation et de climatisation** passe par plusieurs étapes.

- La définition des **objectifs de confort et les besoins en production de chaud et de froid** en fonction des **occupations**. En effet, les **comportements des usagers** génèrent des apports thermiques qui influent sur le confort : dégagements liés à l'occupation d'une salle de classe, à l'équipement informatique d'un bureau ou d'une salle informatique, à la mise en route d'équipements de cuisine au sein de la restauration, etc.
- Le choix des **équipements techniques** de production avec trois objectifs : optimiser la **puissance** au regard des besoins, diminuer les **consommations** énergétiques et développer le recours aux **énergies renouvelables** (solaire -photovoltaïque et thermique-, hydroélectricité, éolien, biomasse -bois, biocarburants-, géothermie -dont pompe à chaleur géothermale-, hydraulique, etc). Pour effectuer les choix en matière énergétique, il importe de tenir compte des filières disponibles sur le territoire. Des systèmes de récupération d'énergie pourront être étudiés à chaque fois que possible. La climatisation systématique et intégrale des locaux scolaires n'est pas recommandée pour des raisons sanitaires, de coût et de consommation énergétique. L'existence d'un espace

climatisé peut toutefois être bénéfique en cas de forte chaleur pour les personnes fragiles. Les solutions passives sont à privilégier, en particulier pour les constructions neuves (voir notice ventilation et QAI).

- La conception du **réseau de distribution** avec la visée de l'optimisation des cheminements pour d'une part, en limiter les pertes thermiques et d'autre part, diminuer les consommations pour le déplacement du fluide thermo ou frigoporteur.
- Le choix des **unités terminales** (radiateurs, panneaux, chauffage au sol, brasseurs d'air, etc) pour répondre aux besoins en termes de confort local par local au regard des volumes concernés.
- Les installations sont conçues de manière à atteindre les **températures de référence visées**. L'exploitation est également conduite en fonction de ces températures de référence pour assurer une **maîtrise de la consommation**.



À DIRE D'EXPERTS...*

En saison hivernale, assurer une température intérieure de 19°C plutôt que de 20°C conduit à une diminution des déperditions thermiques de 10% pour une température extérieure de 10°C et donc des consommations.



À DIRE D'EXPERTS...*

En cas d'activation du PPMS, il est nécessaire de pouvoir couper facilement le chauffage car la température monte vite dans les zones de mise à l'abri.



Pour évaluer le résultat des choix effectués en conception, il est préconisé de réaliser des **simulations thermiques dynamiques**. Elles permettent d'estimer les besoins thermiques (énergie utile en chaud et froid) du bâtiment en exploitation en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des divers apports thermiques, du comportement des occupants et du climat local. Le **scénario d'occupation** sur une journée, une semaine et une année constitue une donnée d'entrée à ces études.

COLLÈGE PIERRE GILLES DE GENNES À FRINICOURT (51)



© TOA architectes, Frédéric Delangle, photographe.

Le collège bénéficie d'un jardin sous serre mais non chauffé, qui assure un confort en hiver grâce aux apports solaires. L'association de puits canadiens procure en été une ventilation rafraîchissante.

ÉCOLE DE LA MADELEINE À FÉGRÉAC (44)



© Atelier Belenfant&Daubas architectes, Jean-Dominique Billaud, photographe.

Les panneaux solaires servent de préau aux enfants

■ Optimiser le fonctionnement par une bonne régulation et une formation des usagers

La **facture énergétique** d'un bâtiment provient de différents usages : production et distribution d'énergie, éclairage, chauffage, ventilation, climatisation, etc. La **régulation des systèmes** associés à ces usages est primordiale pour réduire les coûts tout en respectant le confort des occupants. L'exploitation des installations de chauffage permet un suivi fin et l'atteinte des objectifs de consommation énergétique.

Les bâtiments scolaires sont de plus en plus équipés de systèmes de **gestion technique** (GTB - gestion technique de bâtiment - ou GTC - gestion technique centralisée -). Ces systèmes remontent les informations vers le gestionnaire en charge du patrimoine qui peut alors les analyser, contrôler et agir en conséquence. En matière de confort thermique, ce type d'appareillage détermine les fonctions suivantes :

- **régulation** pour adapter la consigne de chauffage en fonction de la température extérieure ou déclencher une surventilation au regard d'un taux de CO₂ trop important dans l'air d'une pièce, etc. Cette régulation peut s'effectuer par zones, ce qui permet par exemple d'affecter une température de consigne différente aux installations sportives, ou aux espaces de repos ;
- **programmation** pour diminuer le chauffage en période d'inoccupation, ou l'éteindre en période de vacances scolaires, etc ;
- **optimisation** pour déclencher une commande en fonction de plusieurs contraintes pour assurer un moindre coût ;
- **délestage** pour mettre un équipement à l'arrêt au moment où son fonctionnement entraînerait un surcoût ;
- **comptage** pour comptabiliser l'énergie ou les fluides dépensés ou produits (dans le cas de mobilisation d'énergies renouvelables), suivre les consommations et les refacturer, si nécessaire.

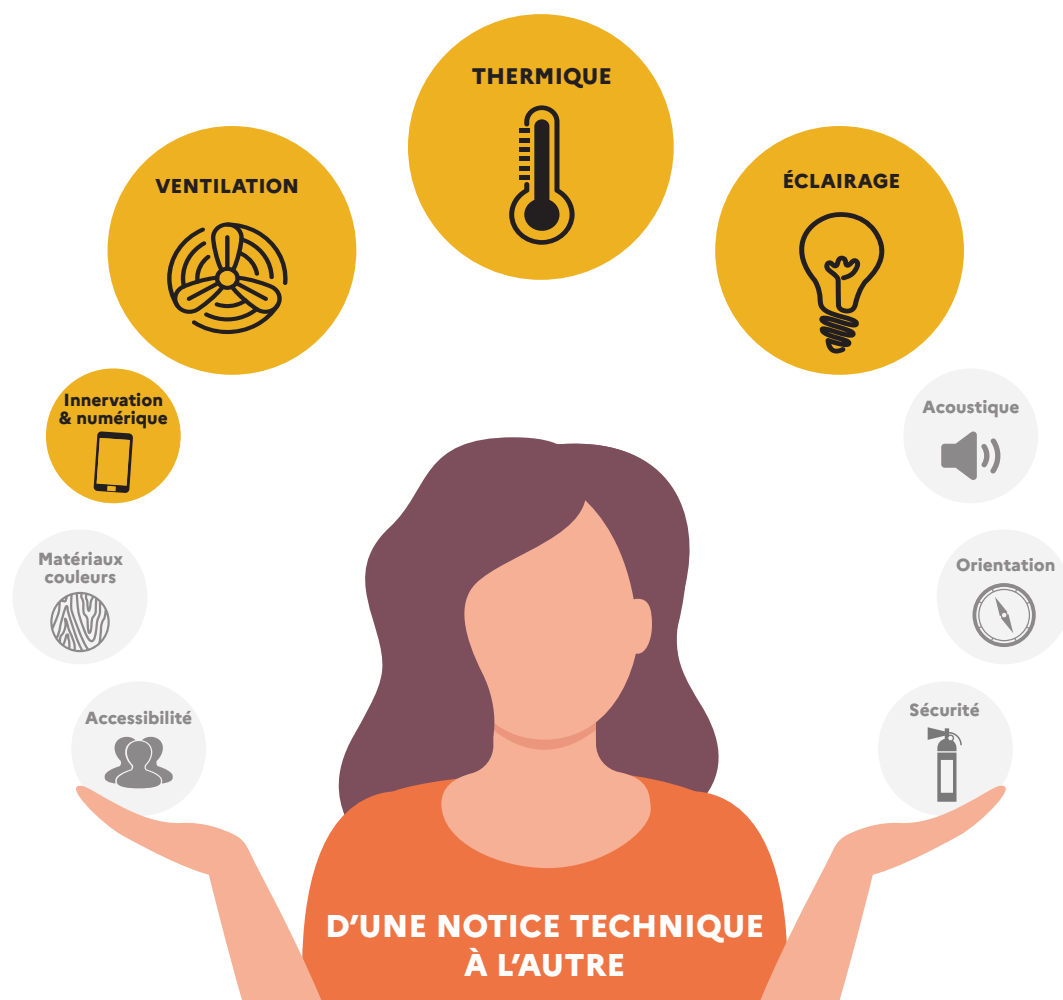
À DIRE D'EXPERTS...*

En matière de confort thermique, l'ensemble de la communauté éducative doit être sensibilisée et accompagnée dans l'évolution des usages et l'utilisation à meilleur escient des équipements et outils déployés. Une bonne formation de l'exploitant, s'il appartient à la communauté éducative est absolument nécessaire, ainsi qu'un encadrement contractuel strict s'il s'agit d'un prestataire extérieur.

Les systèmes régissant le confort thermique d'un bâtiment scolaire sont souvent complexes et nécessitent une période de **mise au point** à réception.

D'autre part, il est pertinent de réaliser un **suivi des performances** pendant une période de deux ans après la réception. Il est souhaitable que la formation de l'exploitant inclue sa participation aux opérations de mise en route des installations et de réglage de celles-ci. Il faut également s'assurer que les dispositifs retenus sont adaptés aux ressources mobilisables pour l'entretien et la maintenance et que **les membres de l'équipe d'entretien du bâtiment scolaire** disposent des informations nécessaires à cette **maintenance** des systèmes (carnet d'entretien détaillé, calendrier de changement des filtres, d'entretien des équipements de chauffage, par exemple).

L'usager étant le mieux à même de juger de son confort, il est souhaitable qu'il participe à la gestion du climat intérieur du bâtiment. L'inconfort peut conduire à des **comportements** consommateurs d'énergie parmi lesquels : ouverture des fenêtres pour combattre une surchauffe hivernale, poussée d'un thermostat pour atteindre la bonne température intérieure, suppression des coupures de chauffage nocturnes... La responsabilisation de l'usager est donc importante. Les réseaux doivent être conçus avec une gestion possible par zones restreintes (plutôt que par local, façade ou par plateau complet) et être simples d'utilisation.



L'atteinte d'un bon niveau de confort thermique en été et en hiver, dépend en grande partie de la conception des bâtiments, qui impacte le sujet de l'éclairage, et de la ventilation. Les systèmes de contrôle et de régulation peuvent nécessiter de développer de la domotique.

2. LES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIVES À PRENDRE EN COMPTE

- **La directive européenne 2009/125/CE** du 21 octobre 2009 Energy Related Products établit un règlement pour les équipements de chauffage afin d'améliorer leur efficacité énergétique et limiter leurs impacts sur l'environnement.
- **Le décret n° 2007-363 du 19 mars 2007** – article R111-22-1 établit que pour tout bâtiment nouveau de plus de 1000 m², il est obligatoire de réaliser une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux. Le contenu de cette étude est décrit dans l'arrêté du 18 décembre 2007.
- **La réglementation environnementale 2020 (RE2020)** pour les bâtiments neufs des secteurs tertiaire et résidentiel peut également servir à définir les exigences en termes de confort d'été. Plus précisément, la RE2020 établit qu'au-delà de 26°C la nuit et 26-28°C le jour, la température intérieure d'un bâtiment est inconfortable.
- **La norme européenne EN 15251** de 2007 s'applique aux bâtiments ventilés naturellement en faisant évoluer la norme 7730. Les calculs issus de cette norme donnent comme plage de confort de classe A une température opérative comprise entre 25°C et 31°C appliquée à la semaine caniculaire d'août 2003.
- **La norme AFNOR X35-203** (datant de 2006), sans avoir de caractère contraignant, suggère que les "conditions de confort" dans les lieux de travail doivent être entre 20 et 22°C dans les bureaux, 16 et 18°C au minimum dans les ateliers à faible activité physique. Ces valeurs semblent toutefois peu adaptées à la prise en compte des modalités du confort d'été.
- **La norme NF EN ISO 7730** reprend le modèle de Fanger pour calculer le PMV (Predicted Mean Vote) en fonction des paramètres d'ambiance que sont la température de l'air, la température de paroi, l'humidité de l'air, la vitesse de l'air et des indicateurs d'activité et d'habillement.

3. INDICATEURS CIBLES SOUHAITABLES POUR QUELQUES ESPACES

	RECOMMANDATIONS INRS	NORME X35-203
Salle de classe	18 à 20 °C	20 à 22 °C
Salle de restauration	18 à 20 °C	16 à 18 °C
Salle de motricité / Gymnase	15 à 17 °C	14 à 16 °C
Bibliothèque	18 à 20 °C	20 à 22 °C
Espace administratif	18 à 20 °C	20 à 22 °C

Plage de confort de l'humidité relative : de 30% à 70%

Plage de confort pour la température du sol : entre 19°C et 26°C

AVANT DE SE LANCER

- Les données climatiques et environnementales ont-elles été prises en compte dans la conception du bâtiment scolaire ?
- Les besoins en termes de confort thermique ont-ils été évalués au regard d'un "juste dimensionnement" des installations techniques ?
- Les locaux aux mêmes exigences peuvent-ils être regroupés dans des zones thermiques cohérentes ?
- Quel équilibre adopter entre la maximisation de l'éclairage naturel, la recherche d'une inertie et/ou d'un confort thermique dans les établissements scolaires et la sécurité lors de vents violents ?
- Quels moyens mettre en oeuvre pour favoriser la maintenance, l'entretien et *in fine* le bon fonctionnement des systèmes de chauffage et de rafraîchissement des locaux scolaires ?

D'autres informations disponibles sur le site
<https://batiscolaire.education.gouv.fr/>

* Source : Verbatim issu des groupes de travail réunis pour l'élaboration des guides «Bâtir l'Ecole».