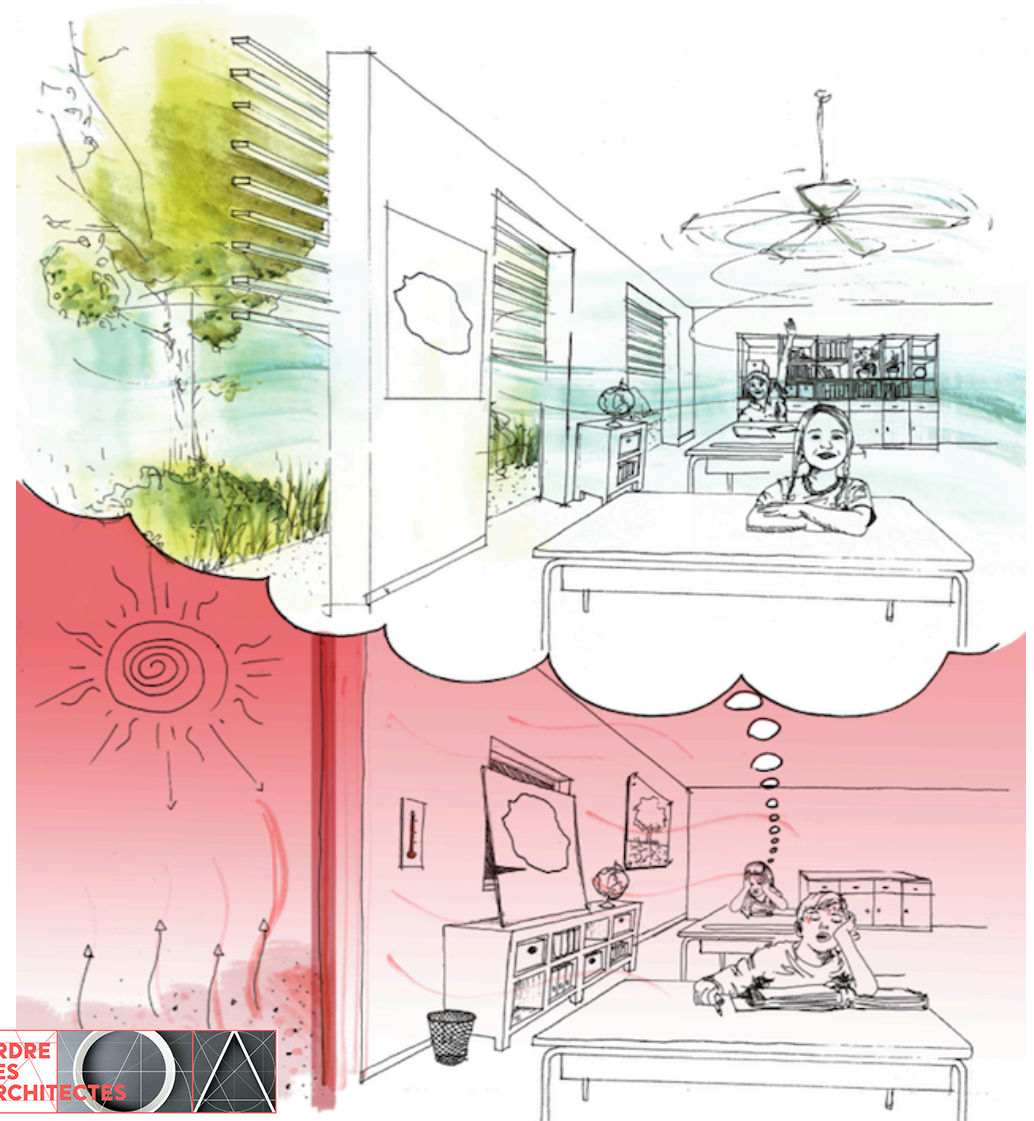


# ETUDE CONFORT THERMIQUE DANS LES ECOLES

Littoral de l'île de la Réunion  
2018-2019

Partie 2 / SANTE  
Impacts sanitaires des conditions  
climatiques des établissements scolaires

enviroBAT-Réunion



Cette étude est réalisée dans le cadre de l'appel à projet PACTE (le Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Énergétique). L'objectif est de partager une vision globale sur la problématique du confort thermique dans les écoles du littoral de l'île de La Réunion.

*Cette étude n'a pas pour objet d'être exhaustive, ni de lister les écoles ayant des problématiques. Les exemples ont vocation à illustrer des thématiques représentatives et utiles à l'ensemble du parc bâti scolaire. Il n'est pas autorisé d'utiliser d'extraits de cette étude sans les replacer dans leurs contextes.*

Nous souhaitons que cette première étape, vous aide dans votre démarche d'amélioration du confort des écoles.

Nous remercions l'ensemble des partenaires qui ont contribué à la réalisation de cette étude.



# IMPACTS SANITAIRES DES CONDITIONS CLIMATIQUES DES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES SUR LE LITTORAL DE L'ÎLE DE LA RÉUNION



Dr. Suzanne DÉOUX



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LE LITTORAL DE L'ÎLE DE LA RÉUNION .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES PERFORMANCES SCOLAIRES.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>L'équilibre thermique de l'enfant avec son environnement.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Le confort hygrothermique de l'enfant à l'école.....</b>	<b>9</b>
3.2.1	Comment évaluer le confort thermique des enfants ? .....	9
3.2.2	Quelle est la température requise dans un établissement scolaire ? .....	10
3.2.3	Quelle gestion des épisodes de température élevée dans les écoles ? .....	12
<b>3.3</b>	<b>Les conséquences de températures élevées dans les salles de classe .....</b>	<b>13</b>
3.3.1	Les réactions physiologiques à l'environnement thermique.....	13
3.3.2	Les réactions respiratoires liés à l'augmentation des émissions de polluants dans l'air intérieur.....	14
3.3.3	Les réactions cognitives lors des travaux scolaires .....	14
3.3.4	Mécanismes d'action de l'environnement thermique sur les performances.....	20
3.3.5	Conclusions.....	21
<b>4</b>	<b>ANALYSE COMPARATIVE DES IMPACTS SANITAIRES DE LA CLIMATISATION ET DE LA VENTILATION NATURELLE ET/OU TRAVERSANTE</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Impacts sanitaires directs de la climatisation .....</b>	<b>23</b>
4.1.1	L'impact de la température.....	23
4.1.2	L'impact de la sécheresse de l'air.....	24
4.1.3	L'impact de l'émission de poussières .....	24
4.1.4	L'impact microbiologique.....	25
4.1.5	L'impact sonore .....	25
<b>4.2</b>	<b>Impacts sanitaires indirects de la climatisation .....</b>	<b>26</b>
4.2.1	L'impact sur la qualité de l'air intérieur (QAI).....	26
4.2.2	Évaluation comparative de la QAI de salles de classe climatisées, sans VMC, et de salles ventilées naturellement.....	27
<b>4.3</b>	<b>Comparaison de l'adaptabilité thermique des personnes en environnements climatisés et ventilés naturellement .....</b>	<b>34</b>

<b>5</b>	<b>IMPACTS SANITAIRES DE L'EXPOSITION SOLAIRE DES ENFANTS DANS LES COURS DE RÉCRÉATION.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Exposition aux ultraviolets (UV).....</b>	<b>36</b>
5.1.1	Le rayonnement ultraviolet.....	36
5.1.2	Santé et rayonnement UV.....	38
5.1.3	Exposition solaire des enfants et des jeunes.....	41
<b>5.2</b>	<b>Exposition à des températures élevées.....</b>	<b>46</b>
5.2.1	Les cours de récréation, des îlots de chaleur.....	46
5.2.2	Les cours de récréation, des îlots de fraîcheur.....	48
5.2.3	Les cours de récréation, moteurs d'amélioration du mieux-être des enfants.....	52

## RÉSUMÉ

L'équilibre thermique de l'enfant diffère de celui de l'adulte en raison d'un rapport surface corporelle/poids plus élevé, augmentant ses échanges par conduction, convection et rayonnement et d'un débit des glandes sudoripares deux fois plus faible, limitant la perte de chaleur par la transpiration. Les conséquences de températures élevées sont physiologiques (fatigue, somnolence, céphalées, etc.), respiratoires (augmentation des émissions de polluants dans l'air par la chaleur,) cognitives (diminution des performances : calcul et lecture mis en évidence en climat tempéré et à vérifier pour d'autres climats).

Dans les études réalisées dans des écoles en pays tropicaux, ventilées naturellement, la température de neutralité est comprise entre 28,2 et 29,1 °C, plus élevée que celle établie par les normes ISO 7730 et ASHRAE 55. L'acclimatation peut augmenter la température optimale pour l'apprentissage. Les enfants seraient plus adaptatifs que les adultes dans un bâtiment ventilé naturellement.

La climatisation des salles de classe n'est pas une solution sans risques pour la santé des enfants : inflammations et infections des voies respiratoires supérieures par choc thermique supérieur à 7 °C avec les espaces extérieurs, sécheresse des muqueuses oculaire, rhinopharyngée et bronchique, exposition aux microorganismes lors des défauts d'entretien, diminution de l'intelligibilité de la parole par le niveau acoustique élevé des équipements, baisse de l'adaptabilité thermique avec notamment baisse de la protéine de choc thermique (HSP 70), exposition au confinement et à une augmentation des polluants de l'air en l'absence de renouvellement d'air.

En climat tropical, les cours de récréation sont potentiellement sources de risques sanitaires pour les enfants. Un enfant sur six vivant sous les tropiques est victime de coups de soleil à l'école qui augmentent le risque de mélanome malin à l'âge adulte. Les températures élevées de ces îlots de chaleur (48 à 55 °C) limitent l'activité physique indispensable des enfants et génèrent fatigue et crampes.

Une analyse comparative de la qualité de l'environnement intérieur a été réalisée à la Réunion, dans des salles de classe, d'une part climatisées et sans renouvellement d'air et, d'autre part, ventilées naturellement. Les températures moyennes sont comprises entre 27,7 et 28,8° C dans les premières et entre 31 et 31,5 °C dans les deuxièmes. Avec une vitesse d'air de 1 à 1,5 m/s (brasseurs d'air), la température ressentie serait inférieure de 3,5 à 4 °C par rapport à la température mesurée et ainsi ramenée aux températures de neutralité en pays tropicaux. Les concentrations en CO<sub>2</sub>, indicateur de confinement, sont excessivement basses dans les salles de classe ventilées naturellement. La climatisation, sans système de renouvellement d'air, entraîne le confinement de la salle durant toute la journée de classe et contribue à la diminution des performances des élèves, par les mêmes mécanismes physiologiques que le font des températures élevées. Concernant les concentrations en composés organiques volatils (COV), les valeurs sont deux fois plus élevées dans la salle climatisée et présentent un plus grand nombre de pics.

**La santé et le confort thermique des élèves imposent la réelle prise en compte globale de tous les paramètres et pas seulement le traitement d'un seul.**

# 1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Dans le cadre d'un appel à projets PACTE, enviroBAT-Réunion, centre de ressources porté par le CAUE de La Réunion, a été un des 28 lauréats de projets pour améliorer la qualité de la construction dans les territoires ultra-marins.

Parmi les quatre nouvelles actions\* entreprises pour renforcer un cadre de vie durable, « **le confort thermique naturel dans les écoles où le volet santé renforce la recherche d'économie d'énergie** » est une thématique majeure pour l'île.

Une expertise médicale et en ingénierie de santé dans le cadre bâti et urbain a été sollicitée pour accompagner le centre de ressources en Qualité environnementale pour analyser les impacts sur la santé des enfants et des personnels encadrants et d'entretien des différentes modalités mises en œuvre ou projetées pour répondre aux questions soulevées par les problématiques de confort thermique, intérieur et extérieur, dans les établissements scolaires primaires sur le littoral de l'île de la Réunion.

Dans l'étude faisant l'objet de ce rapport, il a été réalisé :

- Une recherche et analyse bibliographique sur :
  - Influence de la température sur les performances scolaires,
  - Analyse comparative des impacts sanitaires de la climatisation et de la ventilation naturelle et/ou traversante,
  - Impacts sanitaires de l'exposition solaire des enfants dans les cours de récréation.
- Un monitoring de la qualité globale de l'environnement intérieur à la fois thermique et hygrométrique de plusieurs salles de classe en intégrant les effets des différentes ambiances climatisées ou non climatisées sur la qualité de l'air inhalé par les enfants pendant les heures de classe en période chaude (décembre 2018) et très chaude (février 2019).



**ENVIROBAT RÉUNION - ESPACE D'ÉCHANGES DE SAVOIR ET SAVOIR-FAIRE ENTRE LES PROFESSIONNELS DU CADRE BÂTI EN MILIEU TROPICAL HUMIDE**

EnviroBAT-Réunion est un centre de ressources porté par le CAUE de La Réunion. Quatre nouvelles actions vont renforcer le travail déjà entrepris pour proposer un cadre de vie durable : l'observatoire du cadre bâti durable en milieu tropical humide, le confort thermique naturel dans les écoles où le volet santé renforce la recherche d'économie d'énergie, une mise à jour et une formation sur l'outil BATIPEI pour la rénovation thermique et la création d'un outil pour l'utilisation de la RTAA DOM.

**Porteurs du projet :** CAUE Réunion

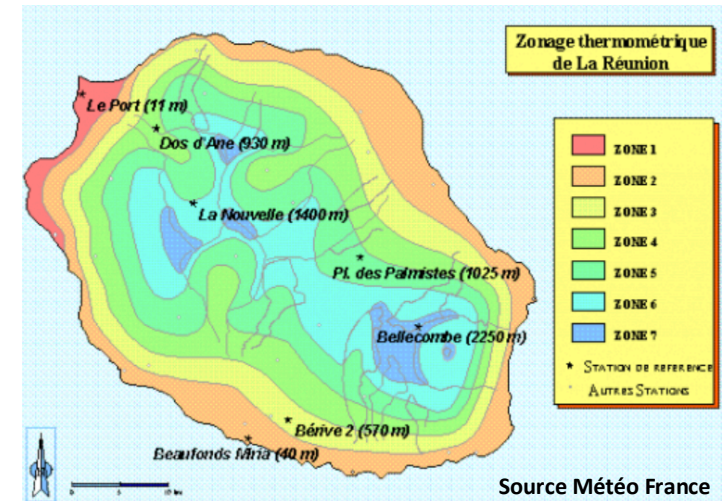
## 2 CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LE LITTORAL DE L'ÎLE DE LA RÉUNION

L'île de la Réunion bénéficie d'un climat tropical océanique humide avec deux grandes saisons :

- La saison fraîche, de mai à octobre. Les températures varient sur le littoral, de 17 à 20 °C pour les minima moyens et de 26 à 28 °C pour les maxima moyens.
- La saison chaude de novembre à avril. Les minima moyens varient entre 21 et 24 °C, et les maxima moyens entre 28 à 31°C, sur la côte.

L'étude concerne tout particulièrement les établissements scolaires de la zone littorale sous le vent, situés dans la zone 1, la plus chaude selon le zonage thermométrique de la Réunion établi par Météo France. En été, la température maximale est d'environ 35 °C, mais le 25 janvier 2019, elle a été de 37 °C à la Pointe des Trois-Bassins.

En 2015, selon les analyses de Météo France relatives au réchauffement climatique à la Réunion, l'analyse des tendances révèle une hausse significative des températures moyennes dans l'île de l'ordre de 0,15 °C à 0,2 °C par décennie (soit un peu moins de 1 °C en un demi-siècle).



	Insolation moyenne (Heure)	Rayonnement Global (cumul jour Wh/m <sup>2</sup> )	Rayonnement Diffus (cumul jour Wh/m <sup>2</sup> )	Température (°C)			Humidité Relative (%)			Intensité du vent moyenne (m/s)
				Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	
Zone 1	9	7070	2321	28.1	24.6	35	69.6	47	88	1.7

### Journée moyenne en été à L'île de La Réunion- Zone 1

Zone littoral Ouest - de La Possession à Saint-Pierre

### 3 INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES PERFORMANCES SCOLAIRES

Pour comprendre les effets de la température, notamment de la chaleur en milieu tropical, sur les performances intellectuelles des enfants, il est indispensable d'analyser d'abord les effets physiologiques de la température sur les enfants.

Comme face à tous les autres paramètres de l'environnement, l'enfant n'a pas les mêmes capacités adaptatives que l'adulte à maintenir sa température corporelle constante face à des environnements chauds ou froids. ***Une ambiance thermique inadaptée des bâtiments accueillant des enfants peut se révéler bien plus inconfortable pour un enfant que pour un adulte. Or, le confort thermique est surtout étudié chez les adultes en milieu de travail, et très rarement analysé en intégrant les particularités de la thermorégulation des enfants.***

#### 3.1 L'équilibre thermique de l'enfant avec son environnement

L'enfant, petit homéotherme, est capable de maintenir sa température centrale dans d'étroites limites grâce à des mécanismes thermorégulateurs. Ceux-ci assurent un équilibre entre la production de chaleur (thermogénèse) et sa déperdition (thermolyse) lorsque la température extérieure varie au-dessous ou au-dessus de la zone de neutralité thermique (zone de température pour laquelle l'individu n'a pas à fournir d'effort pour maintenir la sienne).

#### THERMORÉGULATION : RECHERCHE PERMANENTE D'UN ÉQUILIBRE LORS DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURES

production de chaleur : **thermogénèse**



- **métabolisme** : glycolyse, lipolyse pour produire de la chaleur
- **activité musculaire** : frisson
- **vasoconstriction** : diminution du flux sanguin en périphérie du corps

déperdition de chaleur : **thermolyse**



- **évaporation** : sudation et respiration
- **augmentation du rayonnement infrarouge**
- **vasodilatation** : augmentation du flux sanguin en périphérie du corps



La thermorégulation de l'enfant se distingue de celle de l'adulte par des particularités morphologiques et physiologiques qui expliquent ses réponses différentes au stress thermique lors d'expositions à des environnements froids ou chauds, même si sa régulation centrale est déjà parfaitement fonctionnelle.

**Quatre mécanismes physiques** assurent les échanges thermiques, entre le corps humain, par l'intermédiaire de la peau, et le milieu extérieur : *la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation*. Comparés à l'adulte, les échanges thermiques de l'enfant avec son environnement immédiat sont plus importants par conduction, convection et rayonnement, mais moins importants par évaporation.

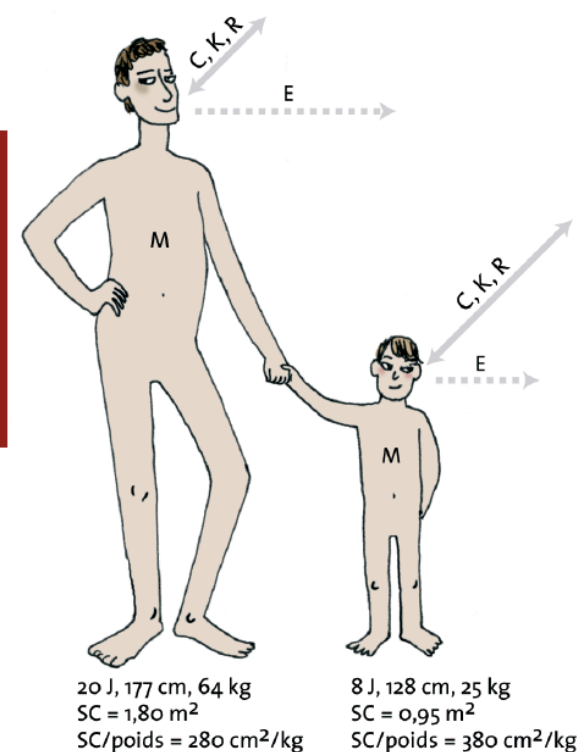
**Parmi les différences physiques, la principale concerne le rapport de la surface corporelle sur le poids, supérieur chez l'enfant** — d'autant plus important qu'il est petit — alors que sa surface corporelle reste inférieure à celle de l'adulte. Dans des conditions sévères de froid ou de chaud, l'enfant absorbe ou perd davantage de chaleur que l'adulte, mais une compensation partielle s'effectue par augmentation de la convection, du fait de la surface corporelle proportionnellement plus élevée. Le plus faible volume sanguin des enfants, même comparé à la taille du corps, peut limiter les transferts de chaleur dans des ambiances chaudes et compromettre les performances lors d'activités physiques sous forte chaleur.

**Le débit des glandes sudoripares est deux fois et demi plus bas que celui de l'adulte.** Or, la sudation constitue l'élément clef de la lutte contre la chaleur et est étroitement liée aux besoins de la thermorégulation. Cette capacité de sudation inférieure, tant en valeur relative qu'en valeur absolue, diminue l'évaporation et augmente la température corporelle centrale. Bien que leur système sudoripare soit complètement développé vers trois ans avec un nombre de glandes identique à celui de l'adulte (trois à quatre millions), leur taille est plus petite et leur capacité sécrétoire plus faible. De plus, le seuil d'activation hypothalamique est supérieur à celui de l'adulte, la sudation débutant à une température centrale plus élevée, l'évaporation de la sueur devant être possible pour rafraîchir la peau ce qui est difficile en ambiance humide.

**REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE LA PRODUCTION ET DE L'ÉLIMINATION DE CHALEUR CHEZ L'ENFANT ET L'ADULTE.**

- C = conduction
- K = convection
- R = rayonnement
- E = évaporation
- SC = surface corporelle

Source Bar-Or, 1983



**Le coût métabolique de la locomotion chez les enfants est une contrainte supplémentaire pour les mécanismes de régulation de la température lors de fortes chaleurs.** Par contre, au cours d'une exposition aiguë au froid, il augmente favorablement la production de chaleur, d'autant que le jeune enfant ne possède pas le mécanisme du frisson thermique. Cette contraction musculaire involontaire multiplie la production de chaleur par quatre de manière transitoire et par deux de manière soutenue et constitue, pour l'organisme, sa principale source de thermogénèse.

La stabilité de la température centrale reflète l'efficacité de la thermorégulation. Dans des conditions de neutralité thermique, les enfants ont la même température rectale que les adultes, mais une température de la peau plus élevée.

**En ambiance chaude, l'enfant a besoin de plus de temps pour s'acclimater à un environnement très chaud et sa température corporelle monte plus vite.** Lors d'un effort, cette dernière est plus élevée chez les enfants, vraisemblablement liée à un métabolisme plus important et à une plus faible capacité de refroidissement par sudation limitant, par conséquent, la capacité de performance.

Les mécanismes de thermorégulation ne sont matures qu'après la puberté, en particulier lorsque les glandes sudoripares sont effectives.



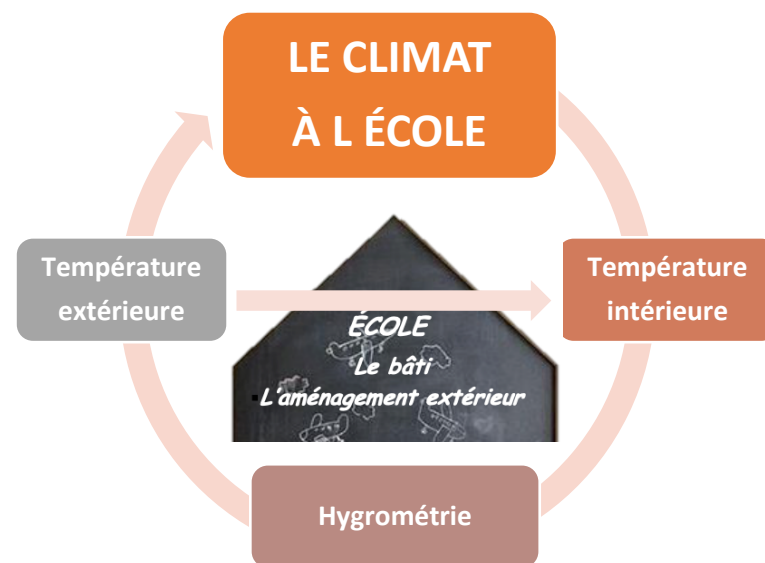
À la RÉUNION, le 23/02/2019,  
Gabriel Attal, secrétaire d'État  
auprès du ministre de l'Éducation nationale  
et de la Jeunesse



#### Les élèves souffrent de la chaleur

*"J'ai entendu les difficultés exprimées par les associations des parents d'élèves et des représentants des enseignants. Il y a de très fortes chaleurs. Il y a un phénomène de dérèglement climatique. Il y a déjà des dispositifs qui existent et notamment certains établissements qui ont été construits de manière à ce qu'il y ait une circulation naturelle de l'air. Il y a des chaleurs qui sont très fortes, mais il faut savoir réagir.*

*J'ai échangé avec le Recteur sur ce sujet-là et ai demandé de mettre en place un groupe de travail avec les collectivités locales pour trouver des solutions nouvelles."*



Les conditions climatiques dans les salles de classe dépendent de la température extérieure mais aussi, de manière importante, de la qualité de la conception du bâti et de ses aménagements extérieurs.

## 3.2 Le confort hygrothermique de l'enfant à l'école

Aux réactions purement physiologiques de la thermorégulation de chaque enfant s'associent des sensations hygrothermiques de froid, de chaud, de neutre dont résulte la satisfaction de chacun vis-à-vis des conditions thermiques de son environnement.

### 3.2.1 Comment évaluer le confort thermique des enfants ?

**Les enfants, surtout les plus jeunes, expriment moins que les adultes leur insatisfaction à l'égard de leur environnement et sont moins aptes à le juger inconfortable.**

Pour cette raison, l'échelle de satisfaction ou d'insatisfaction de l'ambiance thermique (*PMV Predicted Mean Vote et PPD Predicted Percentage of Dissatisfied, Index repris dans la norme ISO 7730<sup>1</sup>*), utilisée pendant des décennies, n'est pas adaptée pour évaluer le confort thermique d'une population scolaire. En outre, ce modèle prédictif élaboré par le danois Fanger<sup>2</sup> est basé uniquement sur le ressenti de personnes adultes travaillant dans des bâtiments climatisés, à température stable. Enfin, la température ressentie ne dépend pas seulement de la température de l'air, mais aussi de sa vitesse, de son humidité et de la température des parois.

Le modèle PMV ne peut prédire avec précision les températures confortables pour les enfants dans des bâtiments non climatisés. En effet, la sensation thermique prédite est sous-estimée en hiver et surestimée en été. Aussi Valeria de Giuli<sup>3</sup> de l'Université de Padoue a évalué en 2014, le confort thermique de l'environnement intérieur de salles de classe de trois écoles primaires en appliquant **l'approche adaptative<sup>4</sup>** avec la participation des élèves. Les normes ASHRAE 55-2013 et EN15251:2007 sont utilisées pour l'évaluation adaptative et la conception d'environnements naturellement ventilés. Elle a donc analysé l'adaptation des enfants à l'environnement thermique pour éviter l'inconfort : adaptation physiologique, psychologique et comportementale. Cette adaptation vient souvent en réaction aux changements d'ambiance intérieure induits par les conditions climatiques extérieures. Par exemple, les enfants ne développent pas spontanément une adaptation comportementale : ils ont tendance à conserver les mêmes vêtements sans les changer pour s'adapter aux variations de l'environnement thermique. Le degré de satisfaction dépend aussi de leur appréciation d'autres facteurs : ils acceptent plus facilement l'inconfort thermique s'ils sont satisfaits de leur école. Ils considèrent l'aspect psychologique plus important que les conditions physiques intérieures.

SENSATION THERMIQUE IDENTIQUE			
Température de l'air	40 °C	32 °C	28 °C
Humidité relative	26 %	68 %	100 %
Vitesse de l'air	1 m/sec	0,1 m/sec	Nulle

<sup>1</sup> ISO EN 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland: International Standardisation Organisation, 2005.

<sup>2</sup> Fanger PO. Thermal comfort. Malabar, FL: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

<sup>3</sup> De Giuli et al., 2014. Measurements of indoor environmental conditions in Italian classrooms and their impact on children's comfort. Indoor and Built Environment 0(0) 1–24

<sup>4</sup> De Dear R and Brager GS. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Trans: Res 1998;4106(RP-884): 145–167.

Comme chez l'adulte et pour les mêmes raisons physiologiques, l'évaluation du confort thermique dépend du sexe : les garçons et les filles ont un ressenti différent surtout en période hivernale, les filles ayant plus souvent froid.

### 3.2.2 Quelle est la température requise dans un établissement scolaire ?

**Aucun texte réglementaire ne fixe actuellement de température minimale ou maximale pour les locaux scolaires.**

Seuls des décrets, pris en en pleins chocs pétroliers des années 1970, ont fixé la limite supérieure de chauffage de tous les locaux, dont ceux d'enseignement, d'abord à 20 °C (décret du 3 décembre 1974), ensuite l'ont abaissé à 19 °C (décret du 22 octobre 1979). Cette température, dite conventionnelle, fixée il y a 40 ans, n'a qu'un objectif économique, mais ne correspond pas à un besoin physiologique.

Si le travail scolaire est assimilé à un travail de bureau sédentaire, la norme ISO 7730, qui ne s'applique qu'à ces locaux de travail, recommande une température comprise entre 23 et 26 °C en période estivale avec un vêtement plus léger.

Dans la norme NF EN 15251<sup>5</sup>, applicable aux bâtiments d'enseignement, **les critères recommandés pour l'ambiance thermique ne sont pas des valeurs de température de l'air mais de température opérative** (moyenne entre les températures de l'air et des parois). La température maximale recommandée pour le rafraîchissement en saison estivale des salles de classe est de 26 °C et 27 °C pour une partie restreinte de l'année.

#### Norme NF EN 15251

Annexe A (informative) Critères recommandés pour l'ambiance thermique

Catégorie	Explication
I	Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées.
II	Niveau normal attendu qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations.
III	Niveau modéré acceptable attendu qui peut être utilisé dans les bâtiments existants.
IV	Valeurs en dehors des critères des catégories ci-dessus. Il convient que cette catégorie soit acceptée seulement pour une partie restreinte de l'année.

Type de bâtiment ou d'espace	Catégorie	Température opérative °C	
		Minimum pour le chauffage (saison hivernale), ~ 1,0 clo	Maximum pour le rafraîchissement (saison estivale), ~ 0,5 clo
Salle de classe	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
Sédentaire ~ 1,2 met	III	19,0	27,0
École maternelle	I	19,0	24,5
	II	17,5	25,5
Station debout — marche ~ 1,4 met	III	16,5	26,0

<sup>5</sup> EN15251 :2007 Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique. Bruxelles: Comité Européen de Normalisation (CEN), 2007.

### Norme européenne EN 15251 (2007)

Salles de classe (Annexe A1 et A2)	Confortable	Acceptable	Inconfortable
<b>Température été</b>	25 °C – 27 °C	+ 3,5 °C vitesse d'air de 1,5 m/s	> 27 °C

#### ▪ Action de la vitesse de l'air

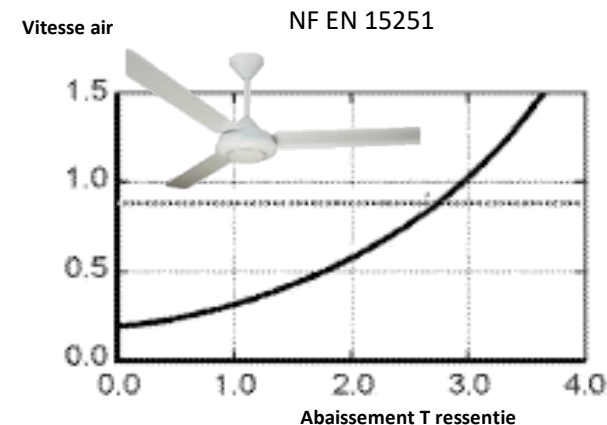
Cette norme précise que dans des conditions estivales (températures opératives intérieures > 25 °C), l'augmentation de la vitesse d'air peut être utilisée pour compenser l'augmentation des températures d'air et maintenir le même transfert de chaleur global de la peau.

Lorsqu'il y a des ventilateurs qui peuvent être directement contrôlés par les occupants, les limites supérieures peuvent être augmentées de quelques degrés, comme le montre le schéma ci-contre. Pour palier des températures excessives dans les bâtiments, une température ressentie inférieure de 3,5 à 4 °C avec une vitesse d'air de 1 à 1,5 m/s peut devenir acceptable en augmentant la vitesse de l'air par le couplage de la ventilation traversante et l'installation de brasseurs d'air de qualité et bien positionnés. Même si les brasseurs d'air brassent de l'air chaud, c'est la vitesse de l'air qui favorise l'évaporation de la transpiration au niveau de la peau.

#### ▪ Action de l'humidité relative (HR)

Dans la norme EN 15251, il est énoncé que « l'humidité n'a que peu d'effet sur la sensation thermique ». Les exigences en matière d'humidité n'y concernent donc que le dimensionnement des systèmes de déshumidification et d'humidification qui influencent les consommations d'énergie. Le rôle de l'HR de l'air dans la température réellement ressentie n'est donc pas évoqué. Or, la chaleur est de plus en plus inconfortable au fur et à mesure que l'humidité augmente. Plus l'air est humide, moins le phénomène de transpiration est efficace.

L'indice « *humidex* », utilisé au Canada, est un indice d'inconfort ressenti en combinant les valeurs de la température et de l'humidité en un chiffre unique. L'indice humidex horaire est seulement affiché lorsque la température de l'air atteint ou dépasse 20 °C et que l'écart entre la température et l'indice humidex est supérieur d'au moins 1. Une formule standard de calcul de l'indice humidex est utilisée par Environnement et Changement climatique Canada : indice humidex = (température de l'air) + h<sup>6</sup>. Aux États-Unis, l'indice américain de chaleur « *heat index* », similaire à l'humidex, exprime la sensation de chaleur en fonction de la température et du taux d'humidité relative, à l'ombre et en l'absence de vent (cf. 3.3.1).



<sup>6</sup> h = (0,5555)\*(e - 10,0), e étant la pression de vapeur en hPa (mbar)

### 3.2.3 Quelle gestion des épisodes de température élevée dans les écoles ?

En métropole, la canicule de l'été 2003 a fait prendre conscience des conséquences sanitaires de chaleurs élevées chez les personnes fragilisées, les tout-petits et les travailleurs.

L'Institut national de recherche et sécurité (INRS) incite donc à la vigilance, dès que la température ambiante dépasse dans la journée 30 °C. Le plan canicule mobilise chaque année les établissements de soins, et particulièrement ceux qui ont en charge des personnes âgées, à veiller à ce que des températures maximales ne soient pas dépassées dans les locaux.

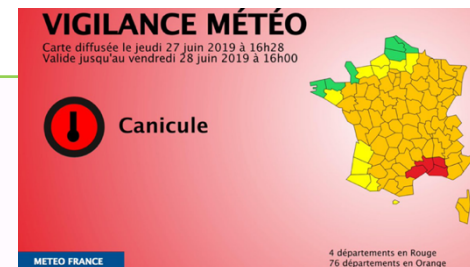
En revanche, aucune disposition n'était prise jusqu'en juin 2019 pour les établissements accueillant des enfants en raison de la survenue des canicules précédentes en période de vacances.

La forte canicule qui a touché la métropole le jeudi 27 et vendredi 28 juin 2019 a incité à reporter les épreuves du brevet qui devaient se tenir ces jours-là. Les collégiens de Mayotte et La Réunion ont été également concernés par ce report.

Le ministère a envoyé les recommandations ci-contre aux établissements scolaires pour protéger au mieux les élèves de la canicule durant cette semaine. Ces consignes ont suscité un certain scepticisme des enseignants.

En effet, dans bien des cas, le bâti ne permet pas de répondre aux conséquences de la canicule : absence de volets ou de stores, notamment sur les baies vitrées, locaux mal isolés, points d'eau insuffisants ou trop loin des salles de classes, cours de récréation sans ombre, absence de brumisateur, etc.

Cela a permis de souligner qu'une adaptation du bâti scolaire existant et du cahier des charges pour la construction d'écoles était indispensable en raison du réchauffement climatique.



#### Canicule

#### *Recommandations aux directeurs d'école et chefs d'établissement pour prévenir les effets de la canicule.*

##### **D'une manière générale :**

- Garder les enfants dans une ambiance fraîche.
- Vérifier la fonctionnalité ou l'installation de stores et/ou volets.
- Etudier les possibilités de limiter les entrées de chaleur dans les salles.
- Fermer les volets et les rideaux des façades les plus exposées au soleil durant toute la journée.
- Maintenir les fenêtres fermées tant que la température extérieure est supérieure à la température intérieure.
- Disposer d'un thermomètre par salle. Vérifier la température des installations (notamment les structures de toile et baies vitrées exposées au soleil) et avoir une solution de « repli » dans un endroit « frais » (bénéficiant de stores, ventilation).
- Sensibiliser les professionnels au contact des jeunes aux risques encourus lors de canicule, au repérage des troubles pouvant survenir, aux mesures de prévention et de signalement à mettre en œuvre.
- Afficher les informations dans les salles de classes et la cantine.
- Éviter les expositions prolongées au soleil : sport, promenades en plein air...
- Limiter les dépenses physiques et activités sportives (adapter la grille d'activité en diminuant les activités à caractère physique ou se déroulant au soleil).
- Distribuer régulièrement de l'eau à température ambiante (veiller à sa qualité).
- Adapter l'alimentation (veiller à sa qualité : respect de la chaîne du froid).
- Veiller aux conditions de stockage des aliments (à la cantine).
- Aménager les horaires pour certaines activités (les décaler tôt le matin ou plus tard le soir).
- Avoir une vigilance particulière envers les personnes et élèves connus comme porteurs de pathologies respiratoires ou en situation de handicap.
- S'il y a prise de médicaments, vérifier les modalités de conservation et les effets secondaires en demandant un avis auprès des médecins scolaires.

##### **En cas de sortie en plein air :**

- Éviter les expositions prolongées au soleil (promenades, activités physiques et sportives...).

### 3.3 Les conséquences de températures élevées dans les salles de classe

#### 3.3.1 Les réactions physiologiques à l'environnement thermique

Le simple inconfort hygrothermique occasionne une gêne sans pour autant présenter systématiquement un risque pour la santé. Le stress thermique déclenché par l'environnement enclenche des réactions physiologiques et psychologiques aujourd'hui bien établies<sup>7</sup>. Des températures trop élevées, aggravées par la densité d'occupation des salles, fatiguent élèves et enseignants et sont source de somnolence, de maux de tête. Selon le *heat index*<sup>8</sup> ou indice de chaleur, la fatigue est le premier trouble physiologique lié à la chaleur qui peut apparaître au-delà d'une température de 27 °C avec une humidité relative supérieure à 50 %.

#### HEAT INDEX

Température ressentie en °C selon la température de l'air et l'humidité relative (Vitesse de l'air non prise en compte)

		température (°C)																
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Humidité relative (%)	40	27	28	29	30	31	32	34	35	37	39	41	43	46	48	51	54	57
	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58		
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59			
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59				
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59					
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58						
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58							
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57								
	85	30	33	36	39	43	47	51	55									
	90	31	34	37	41	45	49	54										
	95	31	35	38	42	47	51	57										
100	32	36	40	44	49	54												



T en °C	EFFETS SUR LE CORPS HUMAIN
27— 32 °C	<b>Attention.</b> Fatigue possible suite à une activité et une exposition prolongée. Crampes de chaleur possible lors d'une activité continue.
32— 41 °C	<b>Attention extrême.</b> Possibilité de crampes et d'épuisement et de coups de chaleur (hyperthermie) lors d'une activité continue.
41— 54 °C	<b>Danger.</b> Probabilité de crampes et d'épuisement et de coups de chaleur (hyperthermie) lors d'une activité continue.
> 54°C	<b>Danger extrême.</b> Hyperthermie maligne imminente.

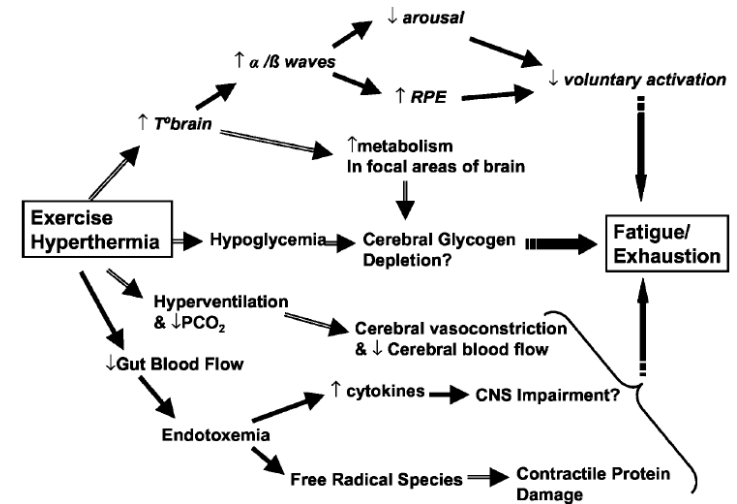
<sup>7</sup> Cheung, Stephen S; Sleivert, Gordon G. Multiple Triggers for Hyperthermic Fatigue and Exhaustion. Exercise and Sport Sciences Reviews: July 2004 - Volume 32 - Issue 3 - p 100-106  
<sup>8</sup> R. G. Steadman, « The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science », Journal of Applied Meteorology and Climatology vol. 18, n° 7, 1979, p. 861-873 / Indice calculé pour un adulte des deux sexes de 1,70 m et de 67 kg.

L'hyperthermie a un effet multimodal sur le déclenchement de la fatigue. Elle modifie l'activité cérébrale, altère les niveaux des neurotransmetteurs comme la sérotonine, augmente la tension artérielle, diminue le flux sanguin cérébral, le transit intestinal, la force musculaire.

Lors de fortes chaleurs, des symptômes apparaissent surtout suite à un travail pénible dans un environnement chaud ou lors de compétitions sportives. Ce sont, par exemple, les crampes qui résultent des pertes de sodium et de chlore liées à la transpiration. Le syndrome d'épuisement par la chaleur survient après plusieurs jours de chaleur. Il est lié à la dépense importante d'énergie pour maintenir la température corporelle normale. Le coup de chaleur aussi appelé hyperthermie maligne est le témoin de la défaillance du contrôle de la température centrale par les mécanismes de l'organisme.

**Schéma général des déclencheurs potentiels de fatigue et d'épuisement thermiques**

Source : Cheung and. Sleivert. 2004



### 3.3.2 Les réactions respiratoires liés à l'augmentation des émissions de polluants dans l'air intérieur

Les teneurs de composés, tel le formaldéhyde émis notamment par certains produits dérivés du bois, augmentent fortement avec la chaleur. Les mesures effectuées dans deux écoles de Strasbourg, en juin 2005, par l'Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique (ASPA) révèlent que les teneurs estivales de formaldéhyde sont supérieures de 70 à 75 % aux teneurs hivernales, l'exposition plein sud des salles de classes pouvant expliquer ces différences saisonnières. Le formaldéhyde est cause d'irritations respiratoires importantes et potentialise la survenue de crises d'asthme. Selon les locaux, les émissions de composés organiques volatils peuvent aussi augmenter lors de températures élevées, dans des espaces clos et non ventilés.

### 3.3.3 Les réactions cognitives lors des travaux scolaires

Depuis des décennies, la recherche est focalisée sur les détériorations des performances des adultes, dans les immeubles de bureau, liées en particulier aux variations de température de l'air. Des baisses de productivité justifient partiellement ces recherches. Ce n'est donc que plus tard que les performances scolaires face aux paramètres thermiques ont suscité un intérêt. Les études ont surtout été réalisées en Europe et États-Unis et notamment par l'équipe conduite par Pawel Wargocki du Centre international de l'environnement intérieur et de l'énergie du Département d'ingénierie civile de l'Université technique du Danemark.



### 3.3.3.1 Études en climat tempéré

En 2002, une méta-analyse très exhaustive de vingt-deux études relatives aux effets des expositions à des températures chaudes et froides, chez les adultes, a été réalisée par l'équipe de Pilcher<sup>9</sup> aux USA. Elle met en évidence que les capacités neuromusculaires et cognitives sont modifiées dès qu'on s'éloigne de la neutralité thermique. L'altération est plus rapide si les températures varient vers le chaud que vers le froid. Lors des tâches cognitives, les performances sont davantage perturbées que lors des tâches de vitesse ou de temps de réaction. Enfin, la contrainte thermique, qu'elle soit froide ou chaude, altère davantage les tâches courtes que les longues.

Suite à leurs études sur les performances des adultes, P. Wargocki et D. Wyon<sup>10</sup>, ont conclu que l'inconfort thermique perturbe l'attention, génère des plaintes, exacerbe les symptômes du syndrome des bâtiments malsains et a un effet négatif sur le travail mental. Estimant que les enfants pouvaient être également affectés, même s'ils expriment moins de gêne, ils ont évalué l'influence de températures élevées sur le travail scolaire.

Ces auteurs signalent qu'une chaleur excessive est très fréquente en milieu scolaire, même dans les pays froids. En Suède, le suivi des températures de l'air dans un grand nombre d'écoles a révélé qu'elles étaient de 23 à 25 °C, d'avril en septembre, parfois même aux environs de 30 °C. Très souvent, les enseignants et les élèves souhaiteraient 3 à 6 °C de moins. La cause commune à la plupart des températures trop élevées est le faible taux de ventilation pour évacuer l'excès de chaleur apporté par les occupants et par de larges baies vitrées exposées au soleil pour augmenter la quantité de lumière naturelle. C'est particulièrement le cas dans les nombreuses écoles qui n'ont qu'une ventilation naturelle et où les fenêtres restent fermées en raison du bruit extérieur et des courants d'air. En période hivernale, un chauffage excessif peut être également en cause.

Dans les années 1970, le suédois D. Wyon avait montré que les performances de calcul et de lecture de plusieurs classes d'enfants de 9/10 ans et de 11/12 ans étaient plus faibles à 27 et 30 °C qu'à 20 °C avec, en particulier, une diminution de la compréhension et de la vitesse de lecture. L'observation du comportement des enfants révélait que les filles étaient de plus en plus fatiguées, mais continuaient à travailler tandis que les garçons devenaient indisciplinés et se concentraient moins bien.

Dans deux classes danoises ventilées mécaniquement, P. Wargocki a apprécié en double aveugle, pendant une semaine, les performances d'enfants âgés de 10 à 12 ans en fonction de la température des locaux et du débit d'air neuf. Lors des cours normaux, six à huit exercices représentatifs des différents aspects du travail scolaire ont été utilisés. Les performances de deux tests de calcul et de deux tests de langage ont été significativement améliorées quand la température a été réduite de 25 °C à 20 °C.

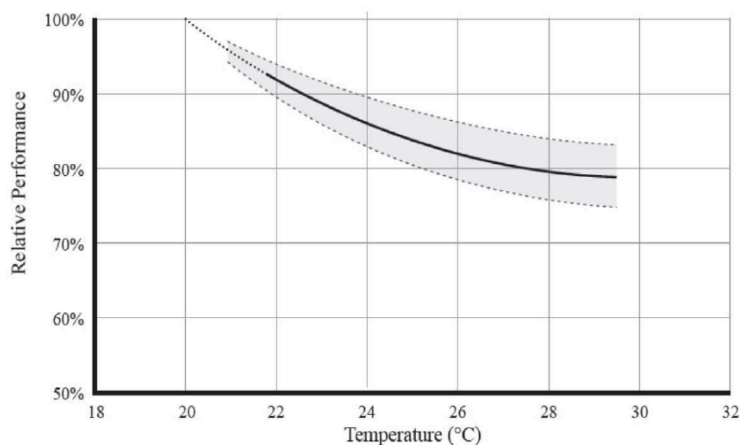
---

<sup>9</sup> Pilcher Jj et al. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. Ergonomics 2002 15;45(10):682-98

<sup>10</sup> Wargocki P, Wyon D.P. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rates on the performance of schoolwork by children. HVAC&R Research. Mars 2007.Vol13.n°2.pp 193-220.

La diminution de la température de l'air dans les salles de classe améliore les performances scolaires globales des écoliers à la fois lors d'opérations de calcul demandant concentration et pensée logique et au cours des tests basés sur le langage. La vitesse d'exécution des tâches augmente. Le pourcentage d'erreurs est réduit, en particulier, lors de la dictée. Les enfants rapportent une diminution des maux de tête suggérant que la réalisation de leur travail est plus facile. Trop de chaleur dans les salles de classe restreint l'efficacité de l'enseignement en raison d'un effort supplémentaire nécessaire pour lutter contre la fatigue induite par l'élévation de la température et la perturbation liée à l'inconfort. Cela concerne tout particulièrement les enfants présentant des difficultés scolaires pour lesquels un effort supplémentaire est difficile. Diminuer la température de 1 °C améliorerait les performances scolaires de 2 %. Ces résultats confirment et complètent ceux obtenus par les travaux, déjà anciens, de Schoer et Shaffran en 1973 et de Wyon en 1970.

P. Wargocki indique que les améliorations apportées par la diminution de la température et l'augmentation du taux de ventilation sont plus importantes sur les performances scolaires des enfants que sur les performances des adultes qu'il a analysées au cours d'études effectuées chez les employés de bureaux. Il souligne une plus grande sensibilité des enfants aux conditions environnementales. Même si l'influence des effets observés au cours de simples travaux scolaires sur le processus global d'apprentissage est encore méconnue, une augmentation de vitesse de réalisation des tâches pourrait donner plus de temps pour apprendre et jouer.



**Température et performances scolaires.**  
Wargocki P and Porras-Salazar J-A (2019)

En 2019, le même auteur<sup>11</sup> a effectué une méta-analyse des publications sur les effets de la température dans les salles de classe sur les performances des enfants à l'école. Les données de 18 études ont été utilisées pour établir une relation entre les conditions thermiques dans les salles de classe et les performances des enfants à l'école.

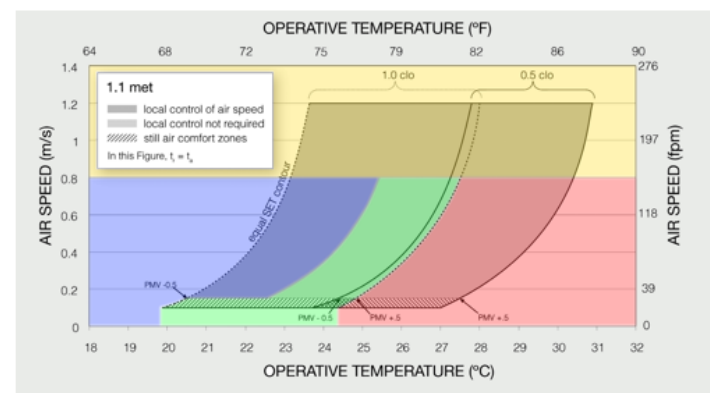
Les tests psychologiques mesurant les aptitudes et les compétences cognitives, les tâches scolaires, y compris les tâches basées sur les mathématiques et le langage, les barèmes de notation et les tests utilisés pour évaluer les progrès réalisés en matière d'apprentissage, y compris les notes de fin d'année et les résultats des examens, ont été considérés comme des indicateurs du rendement des enfants. La relation établie dans l'analyse montre que les tests psychologiques et les tâches scolaires augmentent de 20 % en moyenne si la température de la salle de classe baisse de 30 °C à 20 °C. L'auteur précise que **ce résultat valable pour les climats tempérés** nécessite une vérification pour les autres climats et des extensions à des températures supérieures à 30 °C.

<sup>11</sup> Wargocki P and Porras-Salazar J-A. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. Building and Environment 157. April 2019

### 3.3.3.2 Études en climat tropical

L'évaluation du confort thermique et des performances scolaires en climat tropical est très récente et les publications sont encore peu nombreuses et rares en écoles primaires. En effet, la plupart des études conjuguent des mesures physiques de l'environnement thermique et des questionnaires d'évaluation du confort, ces derniers étant plus difficiles à documenter par de jeunes enfants. Seule l'étude effectuée au Costa-Rica, sous la direction de P. Wargocki, a évalué les performances scolaires.

- En 2003, une étude<sup>12</sup> a été menée par Wong et Khoo dans des salles de classe à **Singapour**, ventilées mécaniquement, pour évaluer leurs conditions thermiques pendant les heures de cours. Les variables de confort thermique ont été mesurées en même temps que les élèves (13 – 17 ans) et les enseignants ont répondu à une enquête sur leur perception/sensation du climat intérieur. Les températures extérieures variaient entre 26,2 °C et 30 °C. Une analyse objective des données a montré qu'aucune des classes ne présentait de conditions thermiques comprises dans la zone de confort de la norme ASHRAE n°55<sup>13</sup>. Les occupants ont jugé la plage de températures au-delà de la zone de confort acceptable. Cette étude démontre que les prédictions du modèle PMV/PPD de Fanger (1970) sous-estime la sensation thermique des enfants et montre des résultats disparates entre ce modèle prédictif et les sensations thermiques des enfants. **Cette étude suggère que la norme n'est pas applicable dans les bâtiments en fonctionnement libre dans le climat tropical. La température de neutralité était de 28,8 °C.**



ASHRAE Standard 55

Comfortable | Too Hot | Too Cold | Too Drafty

- Plusieurs évaluations du confort thermique ont été effectuées en **Malaisie**. Une première dans deux établissements scolaires, une école primaire et une école secondaire de Johor Bahru, dans le sud du pays. Plus de 80 % des répondants ont trouvé leurs conditions thermiques acceptables même si les votes de sensation thermique (TSV) et les mesures ont dépassé les valeurs spécifiées par la norme ASHRAE 55. Une deuxième étude<sup>14</sup> a été réalisée dans une salle de classe au deuxième étage d'une école à Bandar Baru Bangi, Selangor. Pendant 5 jours, de 14 h à 18 h, les mesures et les questionnaires des élèves ont été collectés pendant les heures de cours. Le rôle des vêtements, mesuré avec l'unité « Clo » (Cloth) où 1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup>K/W n'est pas négligeable puisque tous les élèves doivent porter un uniforme scolaire très couvrant :

<sup>12</sup> Wong and Khoo. Thermal comfort in classrooms in the tropics. 2003. Energy and Buildings 35(4):337-351

<sup>13</sup> ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standard-55-and-user-s-manual>

<sup>14</sup> Khadijah Kamaruzzaman1 And Azimin Samsul Bin Mohd. Tazilan. Thermal Comfort Assessment of a Classroom in Tropical Climate Conditions. Recent Advances in Energy, Environment and Development.87-91.

chemise à manche et pantalon long pour les garçons, jupe courte ou longue ou hijab pour les filles. L'analyse objective des données a montré **qu'aucune des classes n'avait des conditions thermiques comprises dans la zone de confort de la norme ASHRAE standard 55**. Il a été conclu que le système de ventilation de la classe devait être amélioré ainsi que **l'agencement de la classe**. En effet, **les bureaux et les chaises étaient trop rapprochés ce qui augmente l'exposition de chaque élève au transfert de chaleur de son petit voisin**.



Uniformes scolaires en Malaisie

- Une étude<sup>15</sup> plus récente, publiée en 2018, a été réalisée pendant deux semaines dans deux salles de classe d'une école primaire du **Costa-Rica**. Des climatiseurs à climatisation fractionnée ont été installés dans les deux salles de classe. Au cours de la première semaine, la température de l'air a été réduite dans une salle de classe, tandis que dans l'autre salle de classe (placebo), les ventilateurs fonctionnaient, mais aucun système de refroidissement n'a été fourni. Au cours de la deuxième semaine, les conditions ont été inversées afin que chaque élève soit son propre contrôle. Au total, 37 enfants ont accompli des tâches analogues à celles du travail scolaire et ont rempli des questionnaires rendant compte de leurs sensations thermiques. L'utilisation des unités de climatisation a réduit la température de la salle de classe d'environ 5°C, passant de 30 ° C à 25 ° C. Les sensations thermiques sont passées de chaudes à neutres et légèrement froides, et le pourcentage d'enfants jugeant les conditions thermiques acceptables a augmenté de manière significative. **La température neutre a été estimée à environ 27 ° C**. Pour les enfants de 11 ans, la rapidité des tâches de langage et de pensée logique a augmenté à basse température, tandis que les élèves les moins aptes ont mieux performé dans toutes les tâches à basse température. Il n'y avait aucun effet significatif sur la précision. Ces résultats confirment les résultats publiés dans les climats tempérés et étendent leur validité aux tropiques. **Ils indiquent que l'acclimatation peut augmenter la température optimale pour l'apprentissage**.
- **En Indonésie**, une étude<sup>16</sup> a également analysé le niveau de confort thermique de 1 594 élèves répartis dans 48 salles de classe de 8 écoles secondaires de la ville tropicale de Makassar. Les données enregistrées incluent des données personnelles et les mesures des paramètres environnementaux. Dans le même temps, les élèves ont été invités à remplir des questionnaires relatifs à leur niveau de confort thermique. Les salles de classe interrogées ont montré une température de l'air variant de 28,2 ° C le matin à 33,6 ° C le midi. La vitesse du flux d'air était faible. Le seul paramètre pouvant satisfaire à la norme nationale indonésienne était l'humidité relative. Même si environ 80 % des répondants ont accepté cette température élevée, la plupart d'entre eux ont préféré une diminution de la température de l'air. **La température de neutralité était de 28,5 ° C à 29,0 ° C**.

<sup>15</sup> Porras-Salazar J-A, Wyon D, Piderit M-B, Wargocki P. Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. 2018. Indoor Air 28(6)

<sup>16</sup> Baharuddin Hamzah and all. Thermal Comfort Analyses of Secondary School Students in the Tropics. 2018. Buildings.

- **Au Nigeria**, pays tropical où la croissance exponentielle de la population des enfants des écoles primaires (43 % des 180 millions d’habitants ont entre 0 et 14 ans) a conduit à une forte demande de salles de classe supplémentaires. Il y a eu énormément de travaux de rénovation et de construction de nouveaux bâtiments. Cependant, certaines de ces salles de classe, une fois construites et occupées, sont inconfortables probablement parce que leur conception et construction n’ont pas pris en compte le climat local.

Une étude<sup>17</sup> a été conduite par l’Université de Salford (GB) dans deux catégories de salles de classe : l’une ouverte, ventilée naturellement et l’autre en espace clos. Les paramètres climatiques extérieurs et intérieurs ont été enregistrés avec remise simultanée du questionnaire pour évaluer l’opinion des élèves sur les conditions thermiques de leur salle de classe. La température moyenne de fonctionnement de la salle de classe ouverte était de 28,8 °C tandis que celle de la salle de classe en espace clos était 29,1 °C.

La majorité des occupants a trouvé ces températures confortables et adaptent leur comportement. Comme dans les études précédentes, **les enfants ont une plus grande variation dans les votes de sensation thermique par rapport à celui des adultes**. La cohérence dans le vote concernant la perception thermique souligne que **les enfants âgés de 7 ans et plus sont capables de comprendre et de réagir aux questionnaires de confort thermique**.

- Pour répondre à la question « **Les modèles de confort thermique internationaux/nationaux sont-ils applicables à une population d’enfants et d’adolescents dans une salle de classe ?** », une étude<sup>18</sup> a été récemment publiée sur le confort thermique après enquête, pendant une année entre 2015 et 2016, dans trois écoles secondaires ventilées naturellement et situées **en Inde**, près de Chandigarh où le climat est subtropical humide.

Climate data for Chandigarh												
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Record high °C (°F)	27.7 (81.9)	32.8 (91.0)	37.8 (100.0)	42.7 (108.9)	44.6 (112.3)	45.3 (113.5)	42.0 (107.6)	39.0 (102.2)	37.5 (99.5)	37.0 (98.6)	34.0 (93.2)	28.5 (83.3)
Average high °C (°F)	20.4 (68.7)	23.1 (73.6)	28.4 (83.1)	34.5 (94.1)	38.3 (100.9)	38.6 (101.5)	34.0 (93.2)	32.7 (90.9)	33.1 (91.6)	31.8 (89.2)	27.3 (81.1)	22.1 (71.8)
Average low °C (°F)	6.1 (43.0)	8.3 (46.9)	13.4 (56.1)	18.9 (66.0)	23.1 (73.6)	25.4 (77.7)	23.9 (75.0)	23.3 (73.9)	21.8 (71.2)	17.0 (62.6)	10.5 (50.9)	6.7 (44.1)

L’âge des 130 élèves était compris entre 10 et 18 ans. Chaque classe étaient équipées de quatre ventilateurs installés sur le mur opposé aux baies vitrées équipées de protections solaires. Les paramètres climatiques mesurés ont été : température de l’air, humidité relative, vitesse

<sup>17</sup> Charles C. Munonye and Yingchun Ji. Adaptive thermal comfort evaluation of typical public primary school classrooms in Imo State, Nigeria. 2018. African Journal of Environmental Research Vol 1, No. 1, 2018

<sup>18</sup> Aradhana Jindal. Investigation and analysis of thermal comfort in naturally ventilated secondary school classrooms in the composite climate of India. Sept. 2019. Architectural Science Review

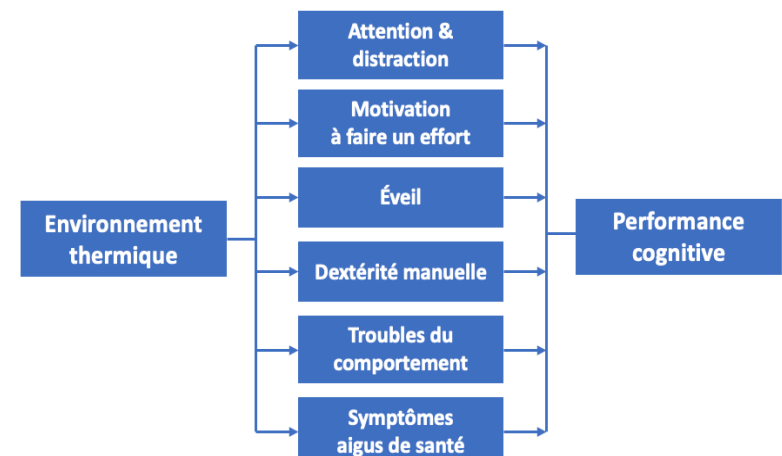
de l'air et température opérative avec le thermomètre à boule noire. Dans les salles de classe ventilées naturellement, les élèves se sont montrés plus adaptables que ce qui est prescrit dans les normes de confort thermique ASHRAE. **La température de neutralité de l'été s'est avérée être de 28,2 °C**, plus élevée de 1,6 °C que la température de 26,6 °C calculée avec la norme ASHRAE 55.

Un modèle de régression linéaire du confort thermique adaptatif a été développé pour les enfants et les adolescents. Ce modèle a été comparé avec ASHRAE 55–2017 et à l'India Model for Adaptive thermal Comfort (IMAC) du NBC-2016 (National Building Code of India). Dans les écoles, la plage de confort thermique est comprise entre 16 °C et 33,7 °C pour une acceptabilité de 80 %. Les limites d'acceptabilité thermique ( $\pm 4,5$  °C) sont plus larges. **Les enfants et les adolescents sont plus adaptatifs que les adultes dans un bâtiment ventilé naturellement.**

Cette étude fournit une base de référence pour la poursuite des recherches sur l'élaboration de normes de confort thermique basées sur les enfants et les adolescents pour les classes de l'enseignement secondaire en Inde. Ces résultats devraient fournir des lignes directrices aux architectes pour concevoir des écoles économes en énergie sans compromettre le confort des occupants.

### 3.3.4 Mécanismes d'action de l'environnement thermique sur les performances

- Les nombreuses études réalisées par Pawel Wargocki et David Wyon<sup>19</sup> leur ont permis d'identifier les modalités d'action de l'environnement thermique sur les performances. Six mécanismes entrent en jeu pour affecter les performances cognitives. Ils sont présentés dans le schéma ci-contre.
- **Dans les Antilles françaises**, N. Robin et G. Coudeville du Laboratoire Adaptation au Climat Tropical, Exercice & Santé de l'Université des Antilles à Pointe-à-Pitre, ont fait une revue<sup>20</sup> de quelques études sur les tâches cognitives réalisées en climat tropical ou dans des conditions conduisant au stress thermique. En accord avec la littérature, il est suggéré qu'à l'école, au bureau ou à l'université sous les climats tropicaux, il soit préférable d'étudier dans des locaux climatisés ou dans



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

<sup>19</sup> Wargocki Pawel et Wyon David. Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. Building and Environment 112 (2017) 359-366

<sup>20</sup> N. Robin, G. Coudeville. Cognitive Function in Tropical Climate. Université des Antilles, Labo Adaptation au Climat Tropical, Exercice & Santé, Faculté des Sciences du Sport de Pointe-à-Pitre.

des locaux ventilés naturellement que dans des conditions climatiques chaudes et humides afin de réduire les sensations de fatigue et les désagréments thermiques. En environnement chaud (>30 °C) et notamment en climat tropical, une large gamme de **facteurs environnementaux influencent les performances cognitives** : la **complexité de la tâche** (*les tâches simples ne sont pas affectées alors que les tâches plus complexes le sont négativement*), la **durée d'exposition à la chaleur** (*la dégradation de la performance est proportionnelles à la durée du stress thermique*), **adaptation** (*au moins 10 jours en climat tropical sont nécessaires pour limiter la baisse de performance*), ou **acclimatation** (*les personnes nées en climat tropical ont un meilleur fonctionnement physiologique leur permettant de mieux tolérer l'exposition à la chaleur, de mieux supporter la perte de performance causée par le stress thermique et de fournir moins d'effort cognitif pour une performance similaire*). Parmi ces facteurs, **l'humidité est particulièrement débilite**ante. En effet, un taux élevé d'humidité relative (> 70 %) nuit à la performance cognitive et à la réalisation de deux tâches. De plus, des **états subjectifs individuels** tels que l'inconfort thermique (*expression de la satisfaction ou de l'insatisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique*) et la **fatigue**, qui sont plus élevés dans les environnements tropicaux ou chauds, peuvent être d'autres facteurs affectant la performance cognitive. En outre, l'évolution des **états affectifs positifs et négatifs** doit également être prise en compte : le climat tropical réduit l'attribut positif (*c.-à-d. l'enthousiasme, l'activité physique et la vigilance d'une personne*) en augmentant la tristesse et la léthargie sans affecter l'affect négatif (*c.-à-d. engagement qui inclut des sentiments de colère, de dégoût, de culpabilité, de peur et de nervosité*).

### 3.3.5 Conclusions

Les études analysées apportent les éléments suivants :

- Il est bien établi que les **conditions thermiques ont une incidence sur les performances mentales lors des travaux scolaires** en affectant la capacité de se concentrer et de penser clairement.
- **Les mécanismes qui modulent les effets des conditions thermiques sur la performance sont étonnamment identiques à ceux que la dégradation de la qualité de l'air intérieur** induit sur la performance. Une qualité de l'air des salles de classe dégradée a donc les mêmes conséquences que des conditions thermiques élevées.
- Les tests de performance, bien que sensibles à l'environnement, ne peuvent pas prédire la performance réelle.
- La motivation pour bien performer peut elle-même être influencée par l'environnement intérieur.
- Il n'est pas prouvé que l'acceptation subjective des conditions environnementales intérieures conduise à une performance optimale.
- Les études réalisées en climat tropical confirment que **le modèle PMV/PPD de Fanger (1970), base de la norme ISO 7730, montre des résultats disparates entre ce modèle prédictif et les sensations thermiques des enfants**. Cette norme n'est pas applicable dans les bâtiments en ventilation naturelle dans le climat tropical. Dans la presque totalité des études analysées, **la température de neutralité est**

**comprise entre 28,2 °C et 29,1°C**, plus élevée que celle établie avec cette norme (26 °C / 27 °C). Les recherches doivent se poursuivre sur **l'élaboration de normes de confort thermique adaptatif, basées sur les enfants et les adolescents** en établissements scolaires.

- **L'adaptation au climat tropical nécessite au moins une dizaine de jours** pour limiter la baisse de performance.
- **Les enfants et les adolescents sont plus adaptatifs que les adultes dans un bâtiment ventilé naturellement.**
- **L'acclimatation des personnes nées en climat tropical** assure un meilleur fonctionnement physiologique, une plus grande tolérance à l'exposition à la chaleur, et demande moins d'effort cognitif pour une performance similaire.



## 4 . ANALYSE COMPARATIVE DES IMPACTS SANITAIRES DE LA CLIMATISATION ET DE LA VENTILATION NATURELLE ET/OU TRAVERSANTE

Depuis des millénaires, dans les pays chauds, l'homme s'est protégé des chaleurs excessives par une conception et un aménagement de son habitat. A partir de la moitié du 20<sup>e</sup> siècle, les techniques constructives ne peuvent très souvent pas amortir les variations inconfortables de température. Si les très fortes chaleurs font apparaître la climatisation comme unique solution pour assurer un équilibre thermique satisfaisant, elles devraient plutôt déclencher une réflexion globale autour du bâtiment pour éviter des réponses simplistes du type : « j'ai chaud, je veux une climatisation ».

Cet élément de modernité a certes des avantages, mais aussi des inconvénients qui ne sont pas toujours connus et maîtrisés.

### 4.1 Impacts sanitaires directs de la climatisation

Suite à la vague de chaleur sans précédent, survenue en France au cours de l'été 2003, l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale (actuellement ANSES) a été chargée par le Ministère de la santé d'une évaluation prioritaire des risques sanitaires de la climatisation dans différents types de bâtiments : établissements de santé et d'accueil des personnes âgées<sup>21</sup>, habitat collectif et individuel<sup>22</sup>.

Elle n'a pas réalisé d'évaluation de la climatisation dans les établissements scolaires. Cependant, l'Agence précise « qu'en l'absence de travaux épidémiologiques publiés dans des revues scientifiques sur l'impact sanitaire des installations de climatisation sur les différents types de populations dites sensibles pendant les périodes de canicule, les recommandations détaillées dans les rapports peuvent être étendues à l'ensemble des structures recevant des personnes dites sensibles dont les très jeunes enfants, les personnes asthmatiques... ».

La revue des impacts sanitaires suivants est basée sur les rapports de l'AFSSE et sur diverses autres études complémentaires.

#### 4.1.1 L'impact de la température

Le corps humain a un mécanisme régulateur très sensible qui permet de maintenir son équilibre thermique avec l'ambiance, sous réserve que les variations de cette dernière, et en particulier celle de la température, ne soient pas trop rapides.

---

<sup>21</sup>AFSSE. Impacts sanitaires et énergétiques des installations de climatisation — Établissements de santé. Établissements accueillant des personnes âgées. Mai 2004.

<sup>22</sup>AFSSE. Impacts sanitaires des installations de climatisation – Domicile des particuliers, habitat collectif, habitat individuel – Août 2004

En cas d'écart trop important (> 7 °C) entre la température extérieure ou la partie non climatisée d'un bâtiment et le local naturellement rafraîchi ou climatisé, il peut apparaître chez les personnes entrant dans le local une sensation de froid avec frissons. C'est pourquoi, afin de prévenir tout choc thermique, il est nécessaire de prévoir un habillement supplémentaire que l'on enlèvera ensuite.

La sensation de froid s'amplifie avec une vitesse d'air frais trop élevée ou avec la proximité d'une bouche de diffusion d'air. Cette sensation de « courant d'air frais » ou de « douche froide » peut être à l'origine de douleurs cervicales et de torticolis, mais également de réactions infectieuses, ORL ou respiratoire, surtout chez les personnes aux défenses amoindries, avec développement possibles d'affections infectieuses respiratoires, virales ou bactériennes.

En outre, les modalités de diffusion de l'air froid est un des facteurs importants du confort. En effet, il est indispensable que l'air diffuse à l'intérieur du local, sans effets gênants de vitesse et de température du jet sur les occupants.

#### **4.1.2 L'impact de la sécheresse de l'air**

L'humidité relative de l'air a des répercussions directes sur certaines fonctions de l'homme.

Si le degré hygrométrique est élevé et supérieur à 70 %, l'effet de la sudation est réduit car l'air ne peut plus absorber de vapeur d'eau. Une partie de la sueur ruisselle et la peau ne peut participer aux échanges thermiques.

La climatisation ne se contente pas de refroidir l'air, mais elle en retire aussi une partie de la vapeur d'eau contenue et abaisse donc l'hygrométrie. Avec une humidité relative inférieure à 30 %, la sécheresse de l'air constitue une gêne notable pour le fonctionnement du système respiratoire. L'assèchement du mucus trachéo-bronchique, dont le rôle est de capter les particules inhalées, réduit la défense respiratoire face aux agents irritants et pathogènes comme les bactéries et les virus. Le poumon ne parvient plus à « s'auto-nettoyer ». L'assèchement concerne aussi les muqueuses nasales, pharyngées, oculaires, mais également la peau avec survenue de démangeaisons et augmentation des poussées d'eczéma.

Ces symptômes sont fréquents dans ce qui est appelé le syndrome des bâtiments malsains (SBS, sick building syndrome), particulièrement étudié dans les immeubles de bureaux avec climatisation centralisée.

#### **4.1.3 L'impact de l'émission de poussières**

L'encrassement des filtres est une source d'émission dans l'air de particules minérales ou organiques à l'origine d'irritations des yeux ou des voies respiratoires. Ces irritations, sans réaction allergique vraie, seront d'autant plus fortes que les sujets seront fragilisés et que l'air sera trop sec.

L'entretien régulier du filtre à air est donc indispensable. Il doit être nettoyé lors de la mise en fonction des équipements et tous les 15 jours en période d'utilisation régulière. Les filtres peuvent être lavés avec une solution détergente neutre et ensuite correctement séchés avant d'être replacés.

#### 4.1.4 L'impact microbiologique

Si les climatiseurs individuels air/air monoblocs ou à éléments séparés (mono ou multi split system) ne sont pas un lieu propice à la multiplication des micro-organismes (acariens, bactéries et moisissures), les installations centralisées de climatisation peuvent, en cas de mauvaise conception et de maintenance insuffisante, favoriser le développement de moisissures et de bactéries et être ainsi à l'origine de plusieurs affections : l'alvéolite allergique extrinsèque, la maladie des climatiseurs ou fièvre des humidificateurs, l'aspergillose pulmonaire invasive et la légionellose.

#### 4.1.5 L'impact sonore

Une bonne acoustique est inhérente à la fonction même de l'école, lieu de communication orale. Ce n'est pas un « plus » ! Il faut bien entendre pour bien comprendre. Aussi, toutes les nuisances sonores qui diminuent l'intelligibilité de la parole et la qualité d'écoute doivent être évitées.

Les climatiseurs sont fréquemment source de bruit :

- à l'intérieur : le ventilateur, selon les vitesses de rotation, et le flux d'air, lors de son passage à travers la grille et les ailettes ;
- à l'extérieur : le ventilateur hélicoïde et le compresseur frigorifique, bien qu'ils soient hermétiques pour réduire l'émission de bruit et montés sur plots antivibratiles pour diminuer la transmission des vibrations.

Le niveau de pression acoustique des climatiseurs fonctionnant en continu doit être inférieur à 38 dB dans les salles de classe.

**Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement)**  
Article 4

LOCAL DE RÉCEPTION	TYPE D'ÉQUIPEMENT	
	Équipement à fonctionnement continu (1)	Équipement à fonctionnement intermittent
Bibliothèques, centres de documentation et d'information, locaux médicaux, infirmeries et salles de repos, salles de musique	33 dB(A)	38 dB(A)
Local d'enseignement, d'activités pratiques, d'administration, salle de réunion, salle des professeurs, atelier peu bruyant, salle polyvalente, salle de restauration	38 dB(A)	43 dB(A)

## 4.2 Impacts sanitaires indirects de la climatisation

### 4.2.1 L'impact sur la qualité de l'air intérieur (QAI)

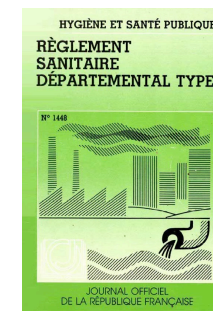
L'impact indirect majeur est l'absence de système de ventilation dans certains locaux climatisés, entraînant une dégradation de la qualité de l'air intérieur, d'autant plus importante que le nombre d'occupants est élevé comme dans une salle de classe.

Face à cette confusion fréquente entre climatisation et ventilation, le rapport de l'AFFSE<sup>(21)</sup> précise :

**« Ne pas oublier que le système de climatisation n'assure pas le renouvellement d'air des locaux, c'est-à-dire l'apport d'air neuf et l'extraction de l'air vicié »**

et rappelle que :

- dans la réglementation thermique des bâtiments, les exigences portent sur le système de ventilation :
  - « **Les bâtiments climatisés autres que d'habitation doivent être munis d'un système de ventilation spécifique : la ventilation par seule ouverture des fenêtres n'est pas possible pour ces bâtiments** »
- dans la réglementation sur la ventilation
  - « **Dans les zones climatisées d'utilisation permanente, les débits de renouvellement d'air nominaux par personne doivent être respectés** ».



#### Débits d'air neuf réglementaires en France pour les écoles

Type de local	Débit d'air neuf à introduire RSDT
Salle de classe de maternelle, élémentaire, collège (sauf ateliers)	15 m <sup>3</sup> /h/pers
Salle de classe de lycée (sauf ateliers)	18 m <sup>3</sup> /h/pers
Bibliothèque, CDI	18 m <sup>3</sup> /h/pers
Bureaux	25 m <sup>3</sup> /h/pers
Salle de réunions, professeurs	18 m <sup>3</sup> /h/pers
Salle d'enseignement pratique, ateliers...	45 m <sup>3</sup> /h/pers
Infirmierie	18 m <sup>3</sup> /h/pers
Cabinet d'aisance isolé	30 m <sup>3</sup> /h/local
Cabinets d'aisance groupés (N)	30 + 15 x N m <sup>3</sup> /h
Salle à manger	22 m <sup>3</sup> /h/pers
Cuisine : moins de 150 repas	25 m <sup>3</sup> /h/repas
Cuisine : de 150 repas à 500 repas	20 m <sup>3</sup> /h/repas

## 4.2.2 Évaluation comparative de la QAI de salles de classe climatisées, sans VMC, et de salles ventilées naturellement

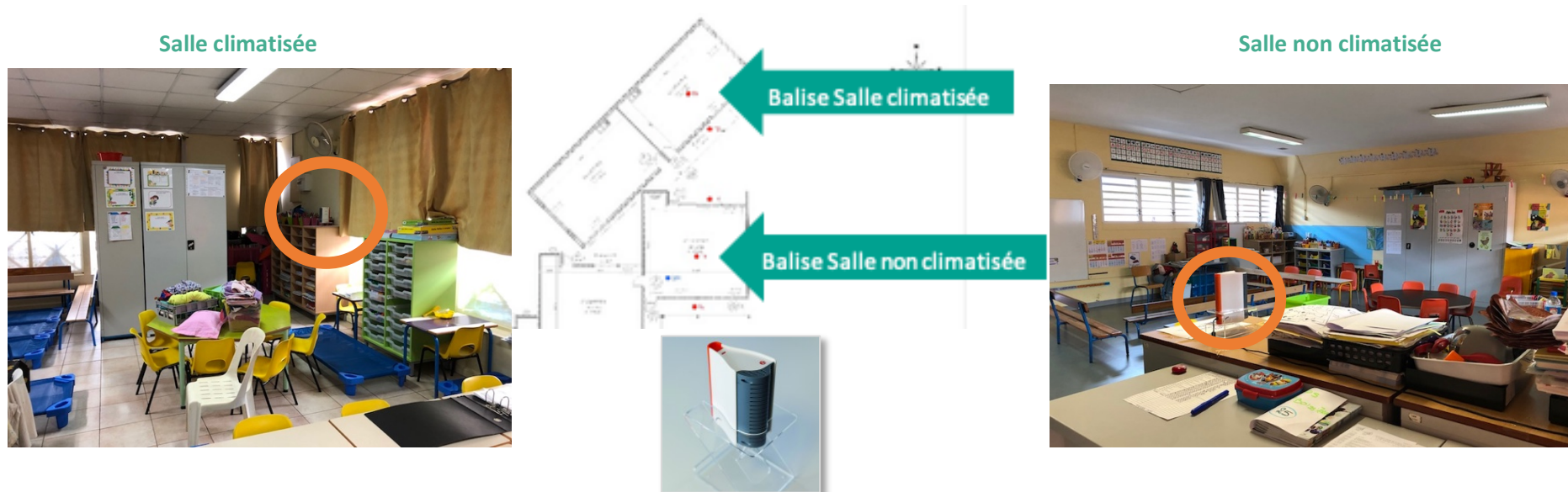
Dans la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, l'art 180 instaure la surveillance obligatoire de la QAI des établissements recevant des enfants. Les décrets n°2015-1000 du 17 août 2015 et n°2015-1926 du 30 décembre 2015 définissent les modalités de surveillance de la QAI, d'évaluation des moyens d'aération et de mesure des polluants.

Pour comparer les différents paramètres de qualité de l'air intérieur, des monitorings ont été effectués dans des salles de classe climatisées et ventilées naturellement de différentes écoles du littoral de l'île de la Réunion en décembre 2018 et en février 2019.

### 4.2.2.1 Qualité de l'environnement intérieur salle climatisée versus salle non climatisée dans la même école

Un suivi en continu de la qualité de l'environnement intérieur a été mis en place pour évaluer plusieurs paramètres (température, humidité relative, environnement sonore) et les différents critères de QAI (dioxyde de carbone, composés organiques volatils globaux en équivalent toluène, composés organiques légers en équivalent formaldéhyde, particules fines) dans une salle climatisée et non équipée de système de renouvellement d'air et dans une salle non climatisée avec une ventilation traversante, à l'aide de jalousies. En même temps, une enquête de perception du confort hygrothermique a été menée auprès des enseignantes des salles de classe.

#### ▪ Première étude comparative au sein d'une même école



	T°C	HR	Bruit	CO <sub>2</sub>	COV légers	COV globaux	PM <sub>1</sub>
	°C	%	dB	ppm	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Mpart/m <sup>3</sup>
<b>Périodes occupées</b>							
Moyenne	27,8	54,9	61,9	1 103,3	10,0	901,5	0,8
Médiane	27,4	53,0	62,0	1 045,0	10,0	852,5	0,7
Minimum	25,4	42,0	57,0	616,0	4,0	636,0	0,2
Maximum	31,8	73,0	70,0	1961,0	24,0	2198,0	2,8
<b>Périodes inoccupées</b>							
Moyenne	30,9	55,5	57,7	428,0	17,9	1 188,1	0,2
Médiane	31,1	60,0	58,0	435,0	18,0	1 056,5	0,2
Minimum	24,8	50,0	57,0	394,0	7,0	770,0	0,1
Maximum	36,9	75,0	62,0	502,0	29,0	2178,0	0,7

### Salle climatisée

### Synthèse des résultats

Période du 3 au 16 décembre 2018

### Salle non climatisée

	T°C	HR	Bruit	CO <sub>2</sub>	COV légers	COV globaux	PM <sub>1</sub>
	°C	%	dB	ppm	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Mpart/m <sup>3</sup>
<b>Périodes occupées</b>							
Moyenne	31,0	59,3	61,5	423,2	5,4	549,9	1,0
Médiane	31,2	58,0	64,0	412,0	5,0	539,5	0,8
Minimum	27,5	48,0	0,0	374,0	3,0	428,0	0,2
Maximum	33,8	77,0	77,0	584,0	10,0	790,0	4,6
<b>Périodes inoccupées</b>							
Moyenne	31,9	55,9	39,9	395,2	13,5	1 145,8	0,3
Médiane	30,5	59,0	39,0	389,0	14,0	1 140,0	0,3
Minimum	26,1	52,0	0,0	368,0	9,0	822,0	0,1
Maximum	35,1	73,0	59,0	455,0	19,0	1557,0	1,1

N.B. Les résultats des périodes inoccupées correspondent aux journées sans classe et concernent les mêmes horaires diurnes que lors de l'occupation.

➤ **Les températures moyennes** dans les salles climatisée et non climatisée dépassent 27 °C et sont considérées inconfortables selon la norme NF EN 15251. Cependant, les études de confort thermique en climat tropical relèvent une température de neutralité comprise entre 28,2 et 29,1 °C.

Avec une vitesse d'air de 1 à 1,5 m/s, la température ressentie est inférieure de 3,5 à 4 °C par rapport à la température mesurée. Elle pourrait être plus acceptable grâce à l'augmentation de la vitesse de l'air par le couplage de la ventilation traversante et de l'installation de brasseurs d'air de qualité et bien positionnés.

➤ **L'humidité relative** est plus basse dans la salle climatisée sans être inférieure à 40 %. Il est intéressant de noter que les enseignantes de chacune des salles ont eu un ressenti inverse des résultats des mesures. Une sensation d'air sec est perçue dans la salle non climatisée où l'HR moyenne est supérieure à 60 %. Dans la salle climatisée, l'air est perçu humide alors que l'HR baisse jusqu'à 40 %.

➤ **Les concentrations en CO<sub>2</sub>, indicateur de confinement**, sont excessivement basses dans la salle de classe ventilée naturellement. L'ouverture des jalousies garantit l'absence totale de confinement, les valeurs correspondant à celles de l'air extérieur.

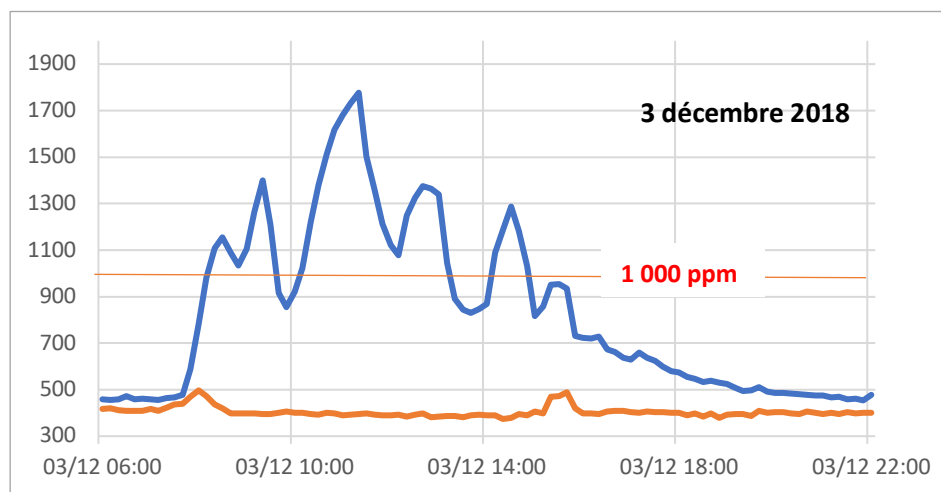
Dans la salle climatisée, sans système de renouvellement d'air et avec les ouvrants fermés, les teneurs en CO<sub>2</sub> augmentent très rapidement dès l'arrivée des enfants et dépassent les 1 000 ppm pendant une grande partie de la journée. Elles sont de deux à trois fois supérieures à celles mesurées dans la classe non climatisée. Au cours des 2 semaines, le confinement dépasse les 1 300 ppm pendant 8.20 h cumulées.

Sur les graphiques ci-contre du suivi CO<sub>2</sub> des 3 et 14/12, on note que la pause déjeuner dont la durée est d'une heure et demie n'apporte pas de décroissance du CO<sub>2</sub> en dessous de 1 000 ppm, les locaux restant fermés. Les cours de l'après-midi reprennent donc dans une ambiance déjà confinée ce qui explique les teneurs très élevées de fin de journée à 1 900 ppm.

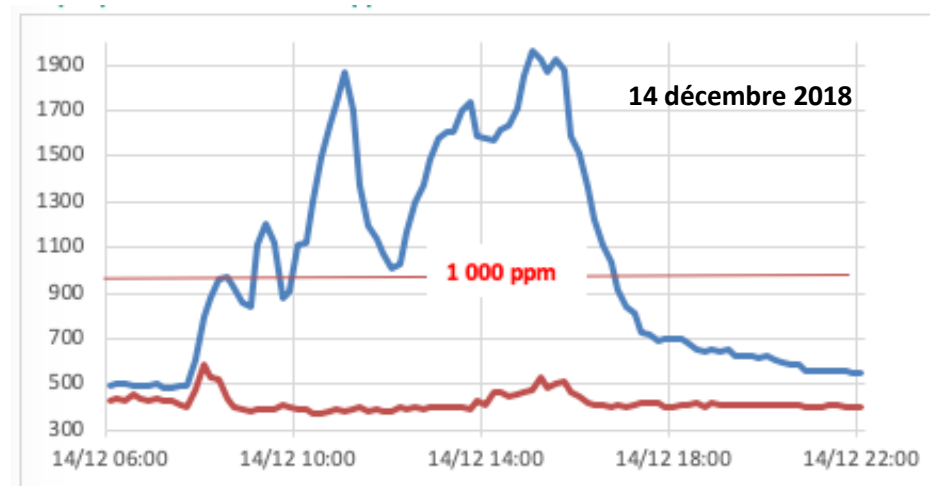
Après la fin des cours à 15.45 h, les teneurs en CO<sub>2</sub> baissent très lentement pour n'atteindre la plage des 400 ppm qu'après plus de 4 h. Si la présence de personnel d'entretien est probable dans les premières heures, la salle est vraisemblablement inoccupée ensuite. Le confinement est tel que le CO<sub>2</sub> produit lors de l'occupation persiste longtemps lors de l'inoccupation de la salle.

Ces graphiques sont représentatifs du monitoring effectué au cours des deux semaines.

***La climatisation, sans système de renouvellement d'air, entraîne le confinement de la salle durant toute la journée de classe et contribue à la diminution des performances des élèves, par les mêmes mécanismes physiologiques que le font des températures élevées.***



Légende : salle climatisée, salle non climatisée

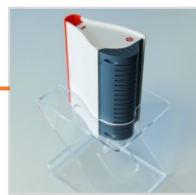
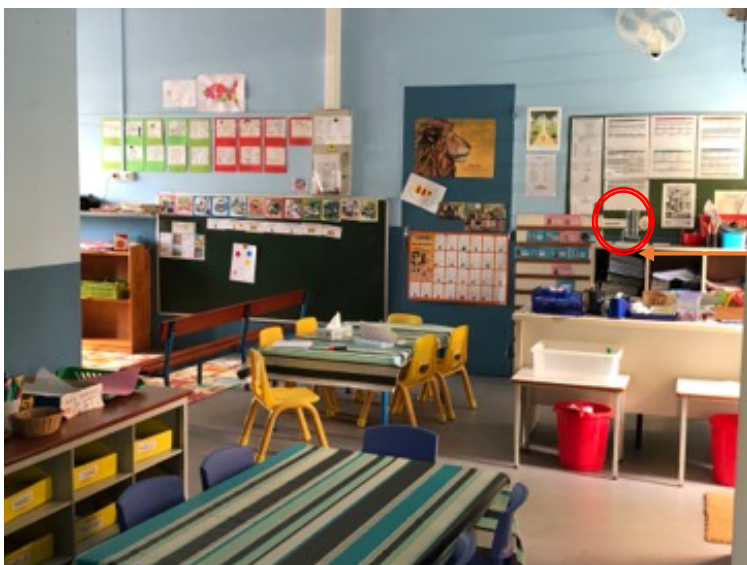


➤ **Les teneurs en COV** légers en équivalent formaldéhyde, et globaux en équivalent toluène, chutent dès l'ouverture des jalousies dans la salle non climatisée alors que dans la salle climatisée, les concentrations augmentent avec la présence des élèves.

➤ **Les concentrations en particules PM<sub>1</sub>** augmentent dans les deux classes à 8h, dès l'arrivée des élèves. A cette heure-là, les pics sont légèrement plus élevés dans la salle non climatisée et peuvent correspondre à l'ouverture des jalousies. Dans la journée, les teneurs sont sensiblement identiques dans les deux classes.

■ **Deuxième étude comparative au sein de deux écoles à la même période**

Salle climatisée



Salle non climatisée





	T°C	HR	Bruit	CO <sub>2</sub>	COV légers	COV globaux	PM <sub>1</sub>
	°C	%	dB	ppm	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Mpart/m <sup>3</sup>
<b>Périodes occupées</b>							
Moyenne	28.8	58	62.6	716.5	9.8	811.6	1.3
Médiane	28.7	58	61.5	719.5	7	789	1.1
Minimum	27.7	52	58	431	4	585	0.2
Maximum	30.4	64	77	1183	48	1232	4.2
<b>Périodes inoccupées</b>							
Moyenne	30.7	65.1	58.5	434	9.1	824.3	0.4
Médiane	30.9	64	58	430.5	9	820.5	0.4
Minimum	29.3	63	58	403	6	715	0.1
Maximum	32.3	69	67	473	12	923	0.7

#### Salle climatisée

	T°C	HR	Bruit	CO <sub>2</sub>	COV légers	COV globaux	PM <sub>1</sub>
	°C	%	dB	ppm	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Mpart/m <sup>3</sup>
<b>Périodes occupées</b>							
Moyenne	31.5	65.7	65.3	427	4.8	403.6	1.8
Médiane	31.6	66	66	424	5	404	1.3
Minimum	28.3	57	49	377	3	366	0.3
Maximum	33.5	72	75	513	9	441	10.9
<b>Périodes inoccupées</b>							
Moyenne	31.1	63.8	43.5	386.4	5.5	412.4	0.5
Médiane	31.3	64	43	383	5	410	0.5
Minimum	30	57	42	371	4	406	0.2
Maximum	32	69	46	412	7	422	1.1

#### Salle non climatisée

### Synthèse des résultats Période du 21 au 26 février 2019

*N.B. Les résultats des périodes inoccupées correspondent aux journées sans classe et concernent les mêmes horaires diurnes que lors de l'occupation.*

➤ **Les températures moyennes** dans les salles climatisée et non climatisée dépassent 27 °C et sont considérées inconfortables selon la norme NF EN 15251. Comme nous l'avons mentionné dans la première étude comparative, les études de confort thermique en climat tropical relèvent une température de neutralité comprise entre 28,2 et 29,1 °C.

Avec une vitesse d'air de 1 à 1,5 m/s, la température ressentie est inférieure de 3,5 à 4 °C par rapport à la température mesurée. Elle pourrait être plus acceptable grâce à l'augmentation de la vitesse de l'air par le couplage de la ventilation traversante et de l'installation de brasseurs d'air de qualité et bien positionnés.

➤ **L'humidité relative (HR)** est légèrement abaissée lors du fonctionnement de la climatisation. Elle reste confortable sans descendre au-dessous de 50 %. Dans la salle non climatisée et avec l'ouverture des jalousies, la valeur médiane d'humidité relative est de 66 %, avec un pic à 75 %, influencé par les conditions météorologiques.

➤ **Concernant les teneurs en CO<sub>2</sub>,**

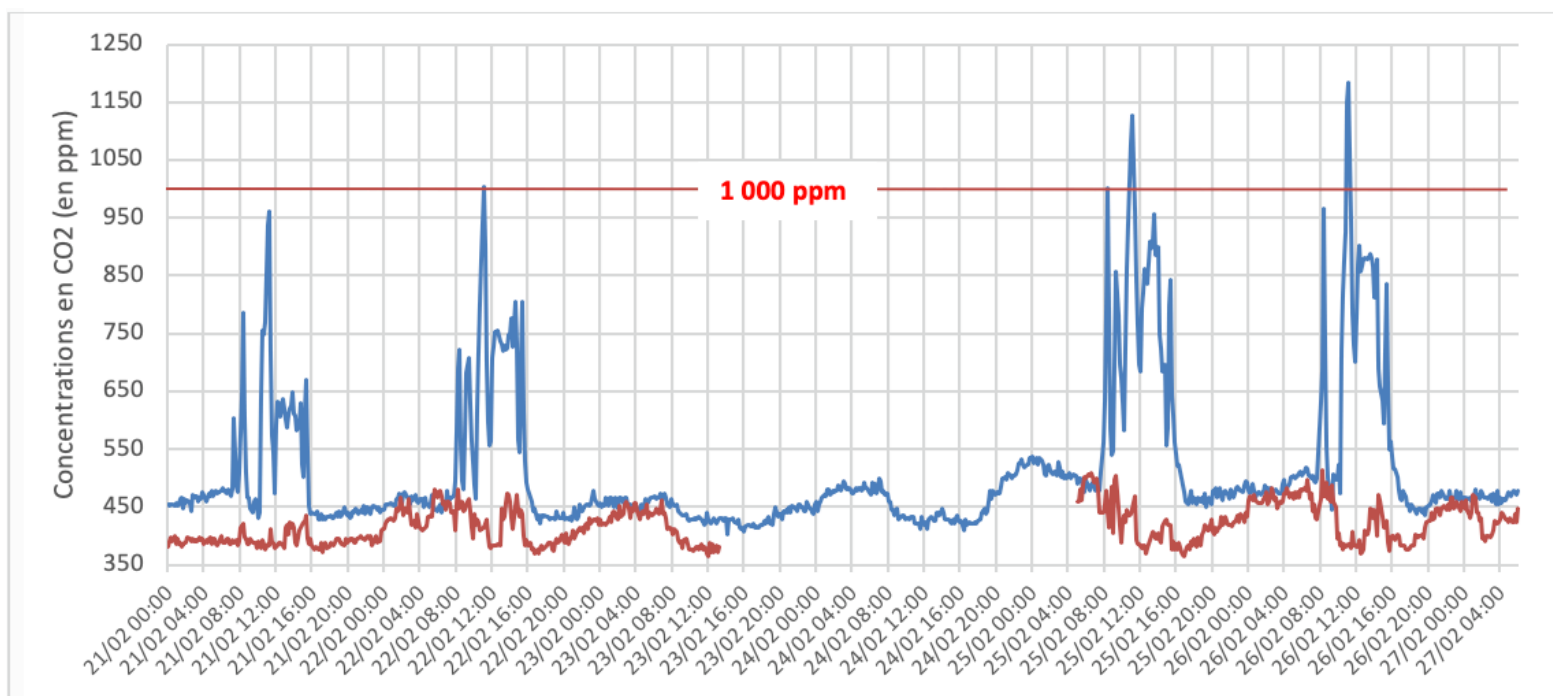
- **En inoccupation,** elles sont dans les deux salles comprises entre 350 et 450 ppm correspondant aux valeurs de l'air extérieur

- **En occupation**

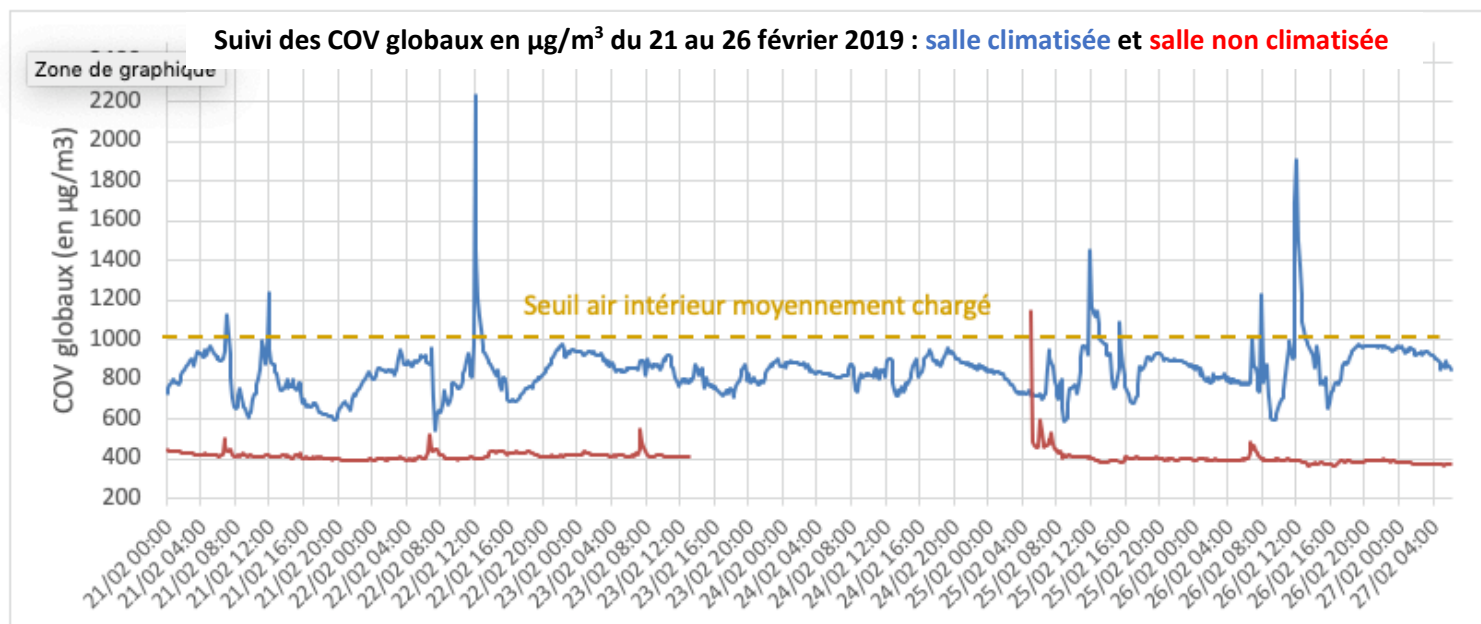
- **Dans la salle non climatisée**, les teneurs en CO<sub>2</sub> restent très faibles sensiblement identiques à celles de l'air extérieur, l'ouverture des jalousies garantissant l'absence totale de confinement.
- **Dans la salle climatisée**, la concentration moyenne de CO<sub>2</sub> (716 ppm) des quatre jours de mesure est plus élevée que dans la classe non climatisée (427 ppm). Le confinement y est plus important. Les valeurs restent globalement satisfaisantes car le dépassement du seuil des 1 000 ppm n'est que très ponctuel (50 min cumulées sur 4 jours d'occupation).

A la différence de la première étude comparative, il est fort possible que le volume plus important de la salle climatisée avec trois zones différentes limite le confinement malgré l'absence de renouvellement d'air.

Suivi du CO<sub>2</sub> en ppm du 21 au 26 février 2019 : **salle climatisée** et **salle non climatisée**



- **Concernant les concentrations en composés organiques volatils (COV)**, les valeurs en COV globaux sont deux fois plus élevées dans la salle climatisée et présentent un plus grand nombre de pics que dans la salle non climatisée.



- **Les concentrations en particules PM1** augmentent dès l'arrivée des élèves et sont légèrement plus élevées dans la salle non climatisée, vraisemblablement en raison des transferts de l'air extérieur par l'ouverture des jalousies.

#### 4.2.2.2 Conclusions

Les enseignements des suivis en continu comparatifs des salles climatisées sans système de renouvellement d'air et des salles non climatisées avec ventilation naturelle par des jalousies sont les suivants :

- **Le confinement des salles de classe climatisées** survient rapidement avec des concentrations en  $\text{CO}_2$  d'autant plus importantes que le volume de la salle de classe est peu important.
- **Les teneurs en polluants volatils (COV)** sont deux fois plus élevées dans les salles climatisées que non climatisées.
- **Les locaux climatisés doivent être munis d'un système de ventilation spécifique** et **les débits de renouvellement d'air nominaux par personne doivent être respectés**, selon les recommandations de l'AFFSE en 2004.

### 4.3 Comparaison de l'adaptabilité thermique des personnes en environnements climatisés et ventilés naturellement

Depuis les années 1990, diverses études ont été conduites pour comparer le confort thermique en climat tropical humide dans des bâtiments climatisés ou ventilés naturellement. L'expérimentation effectuée par R. de Dear<sup>23</sup> à Singapour auprès de 818 personnes mettait en évidence qu'en juillet/août, les locaux à ventilation naturelle étaient en moyenne trois degrés plus chauds que les prescriptions de la norme de confort ISO, mais causaient moins de gêne thermique que prévu. Cet écart a soulevé la **possibilité d'un modèle psycho-physiologique de perception thermique dans lequel les attentes climatiques des occupants des bâtiments varient d'un contexte à l'autre.**

Dans le climat chaud de Taiwan, la température de neutralité des écoliers était comprise entre 28 et 29 °C, selon Wong et Khoo<sup>12</sup>. Ces auteurs ont conclu que **les différences de neutralité thermique étaient probablement dues à l'adaptation et à la tolérance des élèves à des températures plus élevées sous des climats plus chauds.** Bien que les mécanismes causaux spécifiques de cette association ne soient pas totalement clairs, ils ont suggéré que les adaptations physiologiques (acclimatation), psychologiques (attente et accoutumance) et physiques (ajustement vestimentaire) observées chez des populations adultes pourraient également concerner les écoliers.

Des études ont ensuite mis en évidence que les personnes vivant dans des environnements à ventilation naturelle (VN) réagissaient différemment aux environnements chauds que les personnes habituées aux environnements climatisés (AC). En 2012, l'étude chinoise de Yu et al.<sup>24</sup> a tenté de savoir si l'acclimatation physiologique contribuait à cette différence. Dans une chambre climatique, les réactions de 20 personnes (10 dans le groupe NV et 10 dans le groupe AC) ont été contrôlées avec la mesure des réactions physiologiques (température de la peau, sueur, etc.) les réponses de fréquence cardiaque, la concentration de protéine de choc thermique HSP 70) et le confort thermique. Les résultats ont montré que le groupe NV avait une capacité de régulation physiologique au choc thermique beaucoup plus forte que le groupe AC. En effet, **les occupants des bâtiments climatisés habitués à des températures stables ont une acclimatation plus difficile avec une augmentation plus lente de la température de la peau, une diminution de la transpiration et de la protéine de choc thermique.** Le groupe NV a moins ressenti d'inconfort thermique que le groupe AC. Les auteurs ont conclu que les résultats indiquaient clairement que vivre et travailler dans des environnements thermiques intérieurs pendant de longues périodes influence l'acclimatation physiologique des personnes. En outre, il semble qu'une exposition à long terme à des environnements de climatisation stables pourrait affaiblir la capacité d'adaptation thermique des personnes.

---

<sup>23</sup> De Dear et al. Thermal comfort in the humid tropics: Field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore.1991. International Journal of Biometeorology 34(4):259-265

<sup>24</sup> Yu J, et al. A comparison of the thermal adaptability of people accustomed to air-conditioned environments and naturally ventilated environments. Indoor air 2012 Apr;22(2):110-8

La même équipe chinoise<sup>25</sup> du laboratoire Eco-planning & Green Building de l'Université Tsinghua de Pékin indique qu'un flux d'air dynamique fournit un effet notable de refroidissement.

Récemment, une étude de terrain<sup>26</sup>, publiée en juin 2019, a été menée dans des salles de classe à ventilation naturelle situées dans la région nord-est du Brésil dans le but d'évaluer les réponses subjectives des étudiants en fonction de différents milieux thermiques en relation avec l'utilisation de la climatisation (AC). Les variables microclimatiques intérieures ont été mesurées et un questionnaire a été appliqué aux étudiants, dans lequel étaient enregistrées la préférence thermique, la perception du mouvement de l'air et la stratégie de refroidissement.

Les antécédents thermiques des participants par rapport à l'AC ont été classés comme suit :

- exposition antérieure récente (exposition à AC 1h avant l'enquête sur le terrain),
- exposition à long terme (expérience de routine d'AC)
- heures d'exposition quotidienne à AC (dans les cas où l'exposition à long terme a été déclarée).

L'exposition AC à long terme a influencé la perception thermique des élèves et des différences significatives entre les élèves exposés et les élèves non exposés ont été observées pour une température de 28 à 30 °C (température effective standard - SET). L'influence de l'exposition antérieure récente à l'AC était négligeable comparée à celle de l'exposition à long terme. Parmi les étudiants ayant eu une exposition prolongée à l'air conditionné à l'intérieur, ceux ayant déclaré une exposition quotidienne supérieure à 12 heures répondaient avec les valeurs de sensation thermique (TS) les plus chaudes et le pourcentage de préférence le plus élevé en tant que stratégie de refroidissement. La gêne ressentie était un facteur clé de l'influence d'une exposition à long terme sur la perception thermique de l'homme.

En l'état actuel des connaissances, **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.**

---

<sup>25</sup> Zhu Y, Ouyang Q, Cao B, Zhou X, Yu J. Dynamic thermal environment and thermal comfort. 2016. Indoor air. 26(1):125-37

<sup>26</sup> Buonocore C et al. Influence of recent and long-term exposure to air-conditioned environments on thermal perception in naturally-ventilated classrooms. June 2019 ,Building and Environment, 156, 233-242

# 5 IMPACTS SANITAIRES DE L'EXPOSITION SOLAIRE DES ENFANTS DANS LES COURS DE RÉCRÉATION

## 5.1 Exposition aux ultraviolets (UV)

### 5.1.1 Le rayonnement ultraviolet

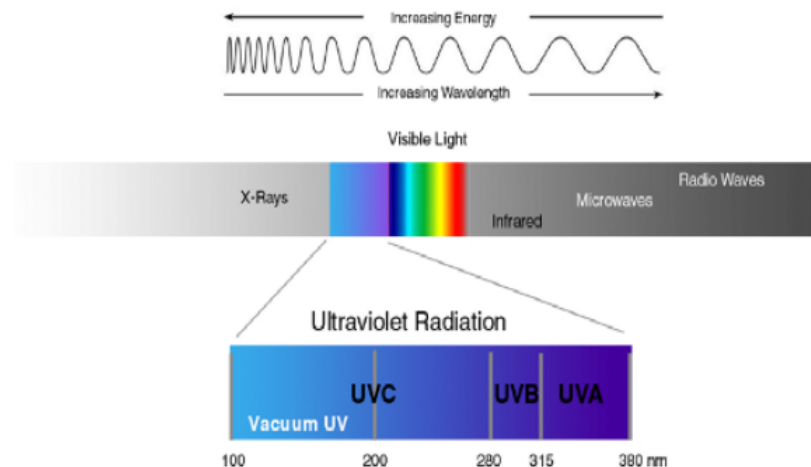
Le soleil est la source de rayonnement ultraviolet (UV) la plus importante en matière d'exposition de la population.

#### 5.1.1.1 Trois catégories de rayons UV

Dans le spectre électromagnétique, la gamme de longueur d'onde de 100 à 380 nanomètres (nm) comprend trois bandes du rayonnement UV, non perceptibles par l'œil humain.

- **Les UVA** de longueur d'onde comprise entre 315 à 380 nm. Ce sont les moins énergétiques, mais les plus pénétrants et atteignent le derme. Ils sont responsables de la pigmentation immédiate de la peau et contribuent à son vieillissement prématuré. Ils accélèrent l'opacification du cristallin, la dégénérescence maculaire de la rétine et peuvent entraîner des modifications génétiques à l'origine de cancers cutanés.
- **Les UVB** ont une longueur d'onde de 280 à 315 nm. Ils sont un peu plus énergétiques mais ne pénètrent que la couche protectrice de l'épiderme. Ils convertissent le cholestérol en vitamine D qui facilite l'absorption du calcium et du phosphore par l'organisme. Une carence en vitamine D peut causer le rachitisme chez les enfants, et l'ostéomalacie et l'ostéoporose chez les adultes. Les UVB sont utilisés dans le traitement du psoriasis et de l'eczéma. Responsables des coups de soleil voire de brûlures, ils sont aussi responsables de plupart des cancers de la peau.
- **Les UVC** ont une longueur d'onde de 100 à 280 nm et sont les rayons UV les plus énergétiques et sont très dangereux pour toutes les formes de vie (même à très faible dose). Par contre, ils ne traversent pas la couche d'ozone et n'atteignent jamais la terre. Ils sont créés de façon artificielle comme agents stérilisants en raison de leurs propriétés germicides.

Le rayonnement UV qui atteint la surface de la terre se compose essentiellement d'UVA et d'une petite fraction d'UVB



### 5.1.1.2 Facteurs agissant sur l'intensité des rayons ultraviolets

L'intensité des rayons UV qui atteignent la surface de la terre dépend de plusieurs facteurs :

- **L'heure du jour** - Les rayons UV du soleil atteignent leur intensité maximale au midi solaire. C'est le moment où le parcours des UV dans l'atmosphère est le plus court. 60 % des UV atteint la surface terrestre entre 10 h et 14 h.
- **La saison** - L'angle d'inclinaison du soleil varie avec les saisons, ce qui influence aussi l'intensité des rayons qui atteignent le sol. Les rayons ont une intensité maximale au printemps et en été, mais la vigilance doit être maintenue en hiver, surtout sur la neige.
- **La couche d'ozone** - Une diminution dans l'épaisseur de la couche d'ozone augmente l'intensité des UV. Cet effet est plus prononcé au printemps et est lié aux émissions de gaz à effet de serre. Plusieurs polluants, comme le chlore provenant des chlorofluorocarbures, accélèrent la destruction des molécules de la couche d'ozone.
- **Les conditions météorologiques** - La couverture nuageuse peut aussi grandement influencer la quantité de rayons UV qui atteignent le sol. Les nuages foncés et chargés d'humidité peuvent absorber jusqu'à 80 % du rayonnement. À l'opposé, plus de 90 % du rayonnement UV peut traverser les nuages peu épais et les nuages épars peuvent augmenter la quantité d'UV reçus au sol en raison du phénomène de réflexion. L'intensité des UV dépend aussi de la pression atmosphérique qui influe sur les conditions météorologiques. Si la pression est élevée, la couche d'ozone est plus mince, alors que si la pression est plus faible, la couche d'ozone sera plus épaisse.
- **La réflexion par certaines surfaces** - La neige fraîche et immaculée peut refléter jusqu'à 80 % des rayons UV, tandis que d'autres surfaces (comme le sable, le béton et l'eau) ont un potentiel de réflexion moindre. Le sable blanc réfléchit jusqu'à 15 % du rayonnement UV.
- **L'altitude** - Le rayonnement UV augmente de 4 % quand l'altitude augmente de 300 mètres, car l'atmosphère diminue et absorbe moins les UV.
- **La latitude** - Les UV sont plus intenses à l'équateur tandis que la valeur minimale est mesurée au pôle nord.

### 5.1.1.3 Indice UV



En raison de l'augmentation notable de l'incidence des cancers cutanés dans toutes les populations à peau claire, depuis les années 1970, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), en collaboration avec d'autres organismes internationaux, a élaboré l'indice universel de

rayonnement UV solaire (IUV)<sup>27</sup> qui est une mesure simple du rayonnement UV à la surface de la terre et un indicateur du risque de lésion cutanée. Il sert à sensibiliser le public et à alerter la population sur la nécessité de prendre des mesures de protection en cas d'exposition au rayonnement UV.

La valeur minimale de l'indice est zéro et, plus il est élevé, plus le risque de lésions cutanées et oculaires est grand, et plus le temps d'exposition doit être réduit.

Quand l'IUV est au-dessous de 3, le risque à court terme et à long terme de lésions dues au rayonnement UV est limité, même chez les personnes à peau claire très sensible et, dans les conditions normales, aucune mesure de protection n'est nécessaire. A partir d'un IUV 3, la protection est nécessaire ; le message doit être renforcé quand il atteint 8 et plus.

INTENSITE DE L'EXPOSITION	IUV
FAIBLE	<2
MODEREE	3 à 5
FORTE	6 à 7
TRES FORTE	8 à 10
EXTREME	11+

## 5.1.2 Santé et rayonnement UV

Les effets du rayonnement UV sur la santé ont été largement examinés dans la monographie 160 de la série Critères d'hygiène de l'environnement de l'OMS. L'exposition de l'homme au rayonnement solaire peut avoir des effets aigus et chroniques sur sa santé et entraîner des atteintes cutanées, oculaires et immunitaires

Selon une erreur très répandue, seules les personnes dont la peau est claire auraient à redouter la surexposition au soleil. Quand la peau est sombre, elle contient davantage de mélanine, un pigment protecteur et, chez les personnes à peau mate, l'incidence des cancers cutanés est effectivement plus faible. Cependant, dans ce groupe, ils sont malheureusement décelés plus tard, à un stade où ils sont plus dangereux. Le risque d'atteinte oculaire et immunitaire due au rayonnement ultraviolet est, lui, indépendant du phototype.

### 5.1.2.1 Effets sur la peau

- **Coup de soleil, bronzage et vieillissement cutané**

L'effet aigu le plus connu de la surexposition au rayonnement UV est l'effet érythémal, qui entraîne un rougissement de la peau appelé coup de soleil, mais la sensation de chaleur est provoquée par la fraction infrarouge du rayonnement solaire et pas par le rayonnement UV. En outre, la plupart des personnes bronzent après stimulation de la production de mélanine par le rayonnement ultraviolet dans les quelques jours qui suivent l'exposition. Un autre effet adaptatif, moins visible, est l'épaississement des couches externes de la peau qui diminue la pénétration du rayonnement vers les couches cutanées plus profondes. Ces deux effets sont le signe de lésions cutanées.

---

<sup>27</sup> WHO/SDE/OEH/02.2. 2002. Indice universel de rayonnement UV solaire. Guide pratique.



L'exposition chronique au rayonnement UV entraîne aussi un certain nombre de lésions dégénératives des composants de la peau : cellules, tissus de soutien et vaisseaux sanguins. On peut citer les taches de rousseur, naevi et lentigos, qui forment des taches pigmentées, et une pigmentation brune diffuse. Le rayonnement UV accélère le vieillissement cutané et la perte graduelle de l'élasticité cutanée entraîne la formation de rides, la peau devenant sèche et rêche.

### ▪ **Cancers cutanés**

Il existe deux grandes catégories de cancers cutanés, les carcinomes ou épithéliomas et les mélanomes. Un cancer sur trois est un cancer cutané.

#### ○ Épithéliomas

Ces cancers sont rarement mortels, mais l'exérèse chirurgicale est douloureuse et laisse souvent des cicatrices. Ils sont particulièrement fréquents sur les parties du corps généralement exposées au soleil, oreilles, visage, cou et avant-bras. L'exposition répétée pendant longtemps au rayonnement UV est un réel facteur étiologique majeur.

Plus de 90 % des épithéliomas surviennent chez des individus de phototype I ou II. Les messages élémentaires de protection associés à l'IUV doivent en priorité s'adresser aux personnes à peau claire, lesquelles ont tendance à avoir facilement des coups de soleil. Les enfants, particulièrement sensibles au rayonnement UV, doivent être tout spécialement protégés.

#### ○ Mélanome malin

S'ils sont beaucoup moins fréquents que les épithéliomas, les mélanomes malins sont la cause la plus importante de décès par cancer cutané. Depuis le début des années 1970, l'incidence des mélanomes malins augmente rapidement, de 4 % tous les ans en moyenne aux Etats-Unis. D'après de très nombreuses études, le risque de mélanome malin est corrélé aux caractéristiques génétiques et personnelles, ainsi qu'à l'exposition au rayonnement UV. Les facteurs de risque les plus importants sont :

- La présence d'un grand nombre de naevi atypiques est le plus grand facteur de risque de mélanome malin dans les populations à peau claire.
- Le mélanome malin est plus fréquent chez les personnes au teint clair, aux yeux bleus et aux cheveux roux ou blonds. Des études expérimentales ont mis en évidence une dose érythémale minimale plus faible et une rougeur de la peau plus durable chez les patients atteints de mélanome que chez les témoins.

**Classification des phototypes d'après TB Fitzpatrick et JL Bologna (1995)**

PHOTOTYPE	BRULE AU SOLEIL	BRONZAGE
I. Peau sensible, ne produisant pas assez de mélanine	Toujours	Rare
II. Peau normale, produisant assez de mélanine	Habituellement	Parfois
III. Peau normale, produisant assez de mélanine	Parfois	Habituellement
IV. Peau protégée par la mélanine qu'elle contient	Rare	Toujours
V. Peau protégée par la mélanine qu'elle contient	Peau naturellement foncée	
VI. Peau protégée par la mélanine qu'elle contient	Peau naturellement noire	

- L'exposition intermittente mais forte au rayonnement UV apparaît comme un facteur de risque important dans la survenue des mélanomes malins.
- Dans les populations à peau blanche, l'incidence du mélanome malin augmente en général avec la diminution de la latitude, l'incidence la plus élevée ayant été enregistrée en Australie, où les taux annuels sont respectivement pour les femmes et pour les hommes 10 et 20 fois plus élevés qu'en Europe.
- Plusieurs études épidémiologiques indiquent qu'il existe une association positive avec les coups de soleil, et notamment pendant l'enfance.
- Le rôle de l'exposition cumulée au soleil dans l'apparition du mélanome malin n'est pas clair. Le risque de mélanome malin est cependant plus grand chez les personnes ayant fait des épithéliomas et des kératoses solaires, deux affections qui sont des indicateurs d'exposition cumulée au rayonnement UV.

### 5.1.2.2 Effets sur l'œil

Des réactions inflammatoires, comparables à un coup de soleil pour les tissus extrêmement sensibles du globe oculaire et des paupières apparaissent en général dans les heures qui suivent l'exposition au rayonnement UV. Ces effets aigus sont notamment la photokératite et la photoconjonctivite, affections extrêmement douloureuses, mais réversibles sans laisser de séquelles, ni pour l'œil, ni pour la vision.

La cataracte, conséquence de l'opacité du cristallin, survient avec le vieillissement. 12 à 15 millions de personnes ont été atteintes de cataracte dans le monde. Les UVB semblent être un facteur de risque majeur de son apparition. L'OMS estime que près de 20 % de cataractes ont été causées ou aggravées par l'exposition solaire spécialement dans les pays près de l'équateur. Si l'incidence des cancers cutanés est moindre chez les sujets à peau mate, ils sont cependant sensibles aux effets nocifs des UV, en particulier aux atteintes oculaires et immunitaires.

### 5.1.2.3 Effets sur le système immunitaire

Des premières données indiquent un effet immunodépresseur du système de défense de l'organisme lors l'exposition aiguë et à faible dose au rayonnement UV. Pour cette raison, dans les pays en développement, la forte intensité du rayonnement ultraviolet risque de diminuer l'efficacité des vaccins. De nombreuses maladies évitables par la vaccination sont extrêmement infectieuses et tout facteur entraînant une diminution, même faible, de l'efficacité vaccinale peut avoir un impact majeur sur la santé publique.

### 5.1.3 Exposition solaire des enfants et des jeunes

#### 5.1.3.1 Les enfants sont particulièrement à risque

Le risque est particulièrement prononcé pour les enfants, et cela pour quatre raisons :

- I. l'exposition pendant l'enfance et l'adolescence favorise l'apparition, à l'âge adulte, de cancers de la peau. Les coups de soleil reçus pendant l'enfance et l'adolescence augmentent la formation de nævus, facteur de risque important de cancer cutané, notamment du mélanome malin, parfois mortel<sup>28</sup> ;
- II. dans une vie humaine, l'exposition au soleil a lieu en grande partie avant l'âge de 18 ans, âge auxquels les enfants ont acquis environ les trois quarts de leur dose d'UV de leur vie ;
- III. du fait de leur jeune âge, les enfants sont davantage exposés aux maladies qui se manifestent après une longue période de latence ; ils ont beaucoup plus d'années de vie à perdre et souffriront plus longtemps de leurs problèmes de santé.
- IV. Les rayonnements UV perturbent le fonctionnement du système immunitaire en induisant une immunosuppression augmentant le risque d'infection. Ceci a de sérieuses implications spécialement pour les enfants vivant dans des pays proches de l'équateur.

#### 5.1.3.2 Risques solaires en milieu scolaire tropical

L'exposition solaire pendant l'enfance en milieu tropical est peu documentée, à l'exception de certains pays et régions anglophones (Australie, Afrique du Sud, Nouvelle-Zélande et Floride). En particulier, aucune étude française n'avait été publiée sur les risques solaires en milieu scolaire tropical avant la thèse<sup>29</sup> soutenue en 2018 à la Faculté de Médecine des Antilles et de la Guyane.

L'objet de la thèse concernait :

- l'estimation des risques relatifs à l'exposition solaire chez des enfants de CM1, de 20 classes sur 7 écoles du secteur Centre, Sud Caraïbe en Martinique, et de leurs connaissances en prévention solaire ;
- la présence de cours de sensibilisation solaire à l'école, des informations sur les infrastructures scolaires, ainsi que sur l'autorisation du port de la casquette en milieu scolaire.

---

<sup>28</sup> Dulon M. et al. Sun exposure and number of nevi in 5- to 6-year-old European children. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2002. Vol 55, Issue 11, 1075-1081.

<sup>29</sup> Guffroy S. Étude des risques solaires en milieu scolaire tropical – Centre sud de la Martinique. Thèse doctorat en médecine. 2018. Faculté de Médecine des Antilles et de la Guyane

Les résultats de l'enquête réalisée par auto-questionnaires auprès des élèves (consentements éclairés des parents) et des enseignants, de janvier à avril 2018 sont les suivants.

• 442 élèves ont reçu le questionnaire

• 287 questionnaires ont été complétés

• Sex-ratio garçons/filles : 1

• Age moyen : 9,3 ans

• 76 % : population antillaise

• 18,8 % : métropolitains

• 48,4 % : phototype clair

• 40,8 % : au moins un coup de soleil (CDS) au cours des 6 derniers mois

• 5,6 % : CDS grave : « avec des cloques », prise médicamenteuse ou hospitalisation : 6 enfants de peau foncée et 10 enfants peau claire

• **16,4 % : un CDS à l'école** : (1,8 % CDS/semaine, 1,8 % un CDS/mois, 2,8 % un CDS/an).

• 46,3 % des élèves savaient que le soleil peut engendrer des problèmes de santé comme des cancers cutanés.

• 43,2 % des élèves pensaient que les nuages les protègent efficacement du soleil.

• 94,7 % des enfants savaient que la crème solaire sert à protéger la peau.

• 51,4 % seulement savaient qu'il fallait l'appliquer chaque deux heures.

• 3 % des enfants de peau claire avaient un tube de crème solaire dans leur sac.

• 55,7 % des enfants se mettaient à l'ombre à la récréation, sans différence liée à leur phototype.

• 1 enseignant sur 20 avait fait des cours de prévention solaire.

• Des espaces ombragés étaient présents dans toutes les écoles, selon les professeurs des écoles. Pas de précision de surface.

**Cette étude montre que plus d'un enfant sur six vivant sous les tropiques est victime de coups de soleil à l'école.** Vu le risque d'apparition ultérieure de mélanome malin après les coups de soleil survenus dans l'enfance, **l'aménagement de zones ombragées, notamment grâce à une végétalisation adaptée des espaces extérieurs est indispensable** et peut être intégrée dans un programme environnemental élargi.

### 5.1.3.3 La prévention en milieu scolaire : donner le bon exemple

Il est donc très important du point de vue de la réduction des risques sanitaires d'éviter l'exposition de l'enfant au soleil. Par conséquent, l'enfant et l'adolescent doivent être la cible prioritaire de l'éducation sur le rayonnement solaire et sur les moyens d'éviter ses ravages sur la santé.

L'OMS et, en France, l'Académie de Médecine et les Plans Cancers, recommandent d'agir en prévention primaire dès l'enfance. Une campagne efficace peut avoir un impact énorme sur la santé publique : une modification des comportements des populations dans le sens d'une protection solaire réelle permettrait d'éliminer plus de 70 % des cancers cutanés en Australie.

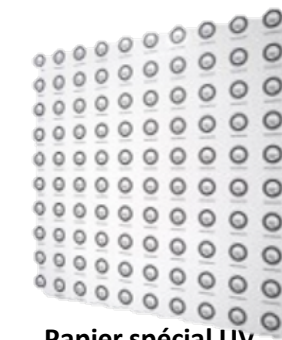
- **Un contexte favorable**

L'école est le cadre où s'effectue l'apprentissage et où s'acquièrent de nouvelles compétences, la prudence en matière d'exposition au soleil en fait partie. Des interventions d'un excellent rapport coût/efficacité qui contribuent à réduire les dépenses de santé peuvent y être mises en œuvre.

- **Motiver les enseignants**

Dans le cadre de l'école, on considère souvent que les risques sanitaires liés au rayonnement ultraviolet sont peu importants, voire qu'il n'y a pas lieu de s'en préoccuper. Il arrive fréquemment que les enseignants, dont le programme est déjà chargé, préfèrent consacrer les ressources et le temps limités dont ils disposent à tout ce qui concerne directement leur programme.

On constate cependant qu'ils sont généralement tout disposés à communiquer les informations sur la protection solaire dès lors que sont mis à leur disposition des modules pédagogiques, immédiatement utilisables et clairement en rapport avec les matières qu'ils enseignent. Des outils<sup>30</sup> sont disponibles pour aider les enseignants à intégrer la protection solaire dans leur enseignement, comme le guide « Vivre avec le soleil » et également le papier spécial UV, blanc, qui bleuit sous l'action des UV et permet de réaliser des expériences sur l'intensité des UV et les facteurs qui la font varier.



Papier spécial UV

<sup>30</sup> <https://www.soleil.info/ecole/outils/le-guide-de-lenseignant.html>

Dans le cadre d'INTERSUN<sup>31</sup>, projet mondial de l'OMS contre les UV, trois brochures didactiques ont été élaborées et destinées à apprendre aux enfants comment se protéger du soleil. Cette série comporte les brochures suivantes :

- *La protection solaire en milieu scolaire.* Comment faire évoluer les choses avec le rappel de l'importance de la protection solaire dans les écoles et la description des étapes nécessaires à la mise en place d'un programme scolaire.
- *La protection solaire – Guide pédagogique pour l'école primaire, destinée aux enseignants du primaire.* Elle propose quelques idées et des modèles d'activités.
- *Évaluer les programmes scolaires visant à promouvoir la protection solaire.* Brochure destinée aux écoles, aux autorités pédagogiques et sanitaires.

▪ **Les 6 recommandations en milieu scolaire**

- Promouvoir de bons comportements au soleil, en particulier les jours de beau temps.
- Limiter les expositions au soleil et leur durée autour du midi solaire.
- Privilégier les débuts de journée pour organiser les activités sportives en extérieur.
- Développer les zones ombragées à l'école (arbres, abris, etc.). Solliciter les élus pour la réalisation des aménagements.
- Lors des sorties, veiller à ce que les élèves emportent la panoplie solaire : chapeau à large bord, lunettes de soleil enveloppantes, vêtements protecteurs et crème solaire à large spectre dont le facteur de protection solaire FPS est au moins égal à 15.
- Faire attention au risque de photosensibilisation si des élèves prennent des médicaments.

**COMMENT MOTIVER LES ENSEIGNANTS ?**

- Établir un lien très clair entre l'enseignement de la protection solaire et les principaux thèmes du programme.
- Se limiter à approximativement cinq messages forts.
- Fournir aux enseignants des documents d'information et des ressources prêtes à l'emploi.
- Organiser des séminaires de courte durée à l'intention des enseignants et du personnel d'encadrement.
- Organiser des compétitions pour inciter les élèves et les enseignants à participer.
- Désigner un « champion » de la protection solaire.
- Favoriser la participation des parents.
- Reconnaître les efforts des écoles par l'octroi d'un prix.

<sup>31</sup> <https://www.who.int/uv/intersunprogramme/fr/>

### 5.1.3.4 L'exemple de la Réunion

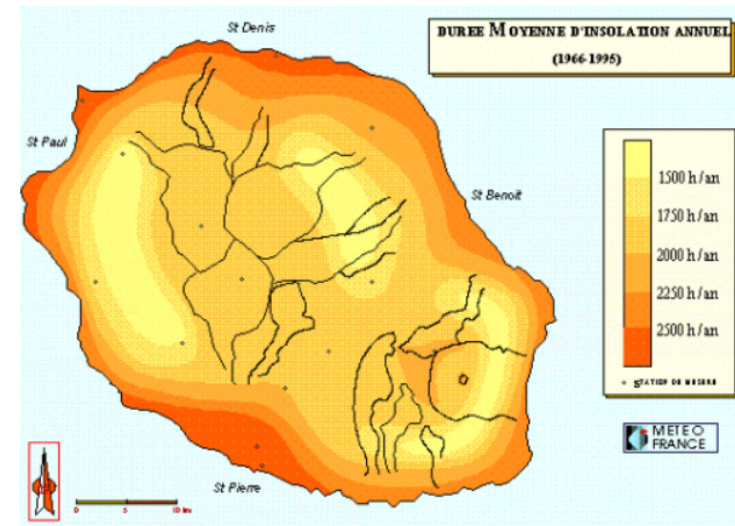
Pour mieux intégrer les risques liés aux UV dans les programmes des écoles primaires, le rectorat de la Réunion a signé, en 2018, une convention de partenariat avec l'association Mission Soleil Réunion, MiSolRé, présidée par une dermatologue. MiSolRé interviendra dans les écoles de l'île pour sensibiliser les enfants aux dangers du soleil et les aider à adopter les bons comportements.

En outre, dans les écoles qui se sont portées volontaires, des lunettes de protection et des crèmes solaires sont distribuées aux écoles, tout en précisant qu'en raison de leur composition, ces dernières ne doivent pas être utilisées d'emblée puisqu'en ayant les bons réflexes d'évitement du soleil et de recherche de l'ombre, il est possible de s'en passer.

Les élèves de CM1 et/ou de CM2 suivent une formation d'une heure sur les méfaits du soleil puis deviennent ambassadeurs de la prévention solaire dans leurs écoles. Des dosimètres mesurant le taux d'UV doivent également être installés dans certains établissements afin de permettre aux enfants d'adapter leurs comportements en fonction de l'indice d'UV affiché. L'outil pédagogique « Vivre avec le soleil » a été diffusé pour la formation des enseignants.

En effet, les méfaits du soleil sont souvent sous-estimés à La Réunion où l'indice UV est en moyenne supérieur à 10 (14 en été), en particulier aux heures les plus dangereuses de la journée, alors qu'il dépasse rarement 8 en métropole, en plein été. En outre, en 2005, 20 cas de mélanomes dû au soleil avaient été détectés dans l'île. En 2015, 107 nouveaux cas étaient recensés.

En ciblant les enfants, les membres de l'association espèrent que les nouvelles générations pourront transmettre leurs connaissances à leurs parents.



## 5.2 Exposition à des températures élevées

### 5.2.1 Les cours de récréation, des îlots de chaleur

Une étude canadienne<sup>32,33</sup> réalisée à l'Université de Waterloo au Canada en 2000 a eu pour objectifs de déterminer trois paramètres : la chaleur des cours d'école, l'impact de cette chaleur sur les utilisateurs de la cour d'école, les coûts de climatisation des bâtiments, la température des propriétés voisines et de la ville et les stratégies d'atténuation qui seraient efficaces.

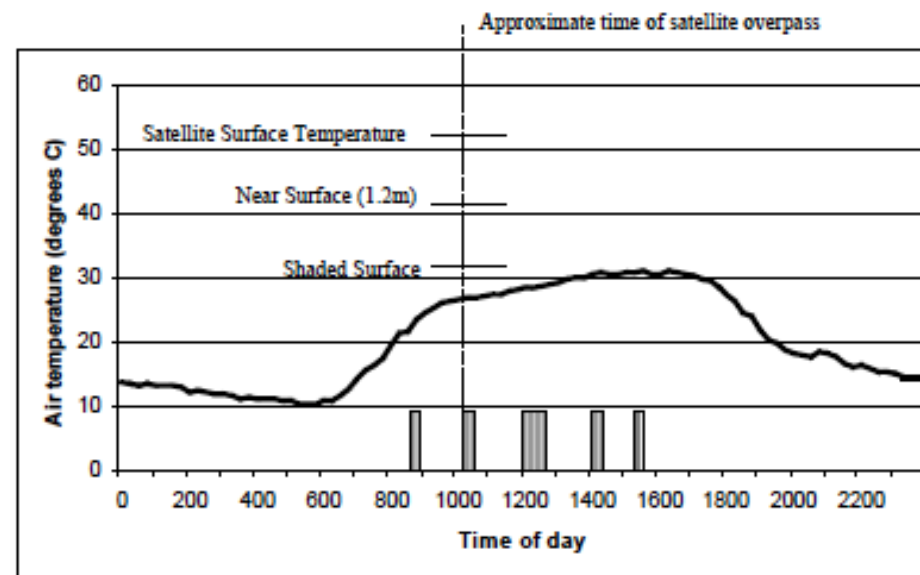
#### 5.2.1.1 Température des cours d'école

L'utilisation du premier satellite Landsat doté de procédures fiables pour l'étalonnage de bandes thermiques a permis de calculer les températures de surface de 15 collèges et lycées. La température des cours d'école variait de 48 °C à 55 °C. La température moyenne à la surface était de 52 °C. Cette température était de 5 °C supérieure à la moyenne des sols environnants.

#### 5.2.1.2 Évaluation des impacts de la chaleur des cours d'école

- **pour les utilisateurs de la cour d'école**

Lorsque la température de l'air était à peine inférieure à 27 °C, la température de la surface non ombragée était de 52,8 °C et de 20 °C supérieure à celle de la surface ombragée. Ces différences de température sont cohérentes avec celles trouvées dans d'autres études (Oke, 1987; Akbari, 1993). À ces températures, l'auteur n'est pas étonné que les enfants n'aient pas envie de courir pour jouer. De plus, la température diminue à mesure que l'on s'éloigne de la surface (Oke, 1987). Plus les enfants sont petits, plus leur corps est vulnérable aux conséquences néfastes de la chaleur. Lors d'activités estivales en plein air, par temps chaud, les enfants préfèrent souvent être dans les bras d'un adulte plutôt que dans une



Température de l'air et des surfaces  
au lycée Mary Johnston pendant le survol du satellite

<sup>32</sup> Moogk-Soulis, C., Seglenieks, F., Lessard, J., Divinyi, S. 2000. *Analysing and Mitigating Schoolyard Heat Islands in the City of Waterloo*, Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo.

<sup>33</sup> Moogk-Soulis Carol. *Schoolyard Heat Islands: A Case Study in Waterloo, Ontario*. 5<sup>th</sup> Canadian Urban Forest Conference. October 7-9, 2002. Region of York, Ontario



poussette ou debout par terre. Il y a 10 °C à 15 °C de moins au niveau de la tête de l'adulte qu'au niveau de la tête d'un enfant d'âge préscolaire au contact du sol.

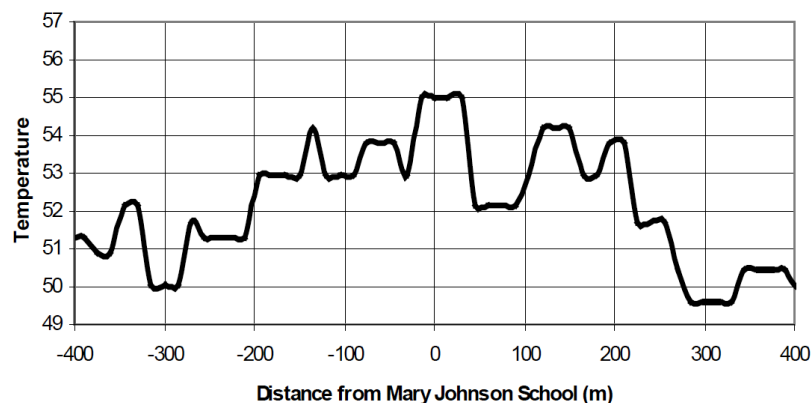
- **pour la température des bâtiments avoisinants et de la ville**

La chaleur est conduite à travers les toits et les murs où l'air chaud s'infiltré par les défauts d'étanchéité. 40 % du coût du refroidissement d'un bâtiment est dû au coût du refroidissement de l'air introduit dans les bâtiments pour la ventilation.

La chaleur, tout comme le bruit, ne respecte pas les limites des propriétés. La cour d'école chaude exporte la pollution thermique vers le voisinage. L'effet le plus important concerne les 80 premiers mètres, mais cet effet est toujours évident jusqu'à 150 mètres.

Ces propriétés voisines seraient donc plus inconfortables pour leurs utilisateurs. Une propriétaire proche de l'école ayant une cour non végétalisée n'a pas pu s'asseoir dans son jardin par une journée chaude et ensoleillée. Le coût du refroidissement des bâtiments voisins serait également élevé.

L'impact des cours d'école chaudes sur la ville dans son ensemble est d'élever la température moyenne de la ville.



**Températures des zones voisines à partir de la cour d'école pendant le survol du satellite**

### 5.2.1.3 Quelles stratégies mettre en place face à la chaleur des cours d'école

Les deux stratégies d'atténuation les plus efficaces envisagés ont été le **remplacement des surfaces à faible albédo** et la **plantation d'arbres pour apporter de l'ombrage aux surfaces et refroidir l'air par évapotranspiration**. La faisabilité de chacune de ces stratégies a été examinée.

- **Identification des surfaces à faible albédo.** La Mary Johnson Public School possède un certain nombre de surfaces à faible albédo. Ce sont la toiture en métal, le parking en asphalte, les aires de jeu adjacentes au bâtiment et les terrains de jeu en gazon. Il est considéré qu'il reste plusieurs décennies d'utilité au toit avant que son remplacement ne soit envisagé. Le béton coûte cinq fois plus cher que l'asphalte et il n'est pas considéré comme résistant aux conditions météorologiques locales. Les terrains de jeu font partie intégrante des ressources récréatives de l'école, du quartier et de la ville. Par conséquent, il est peu probable que ces surfaces soient remplacées et la modification de l'albédo de surface a été rejetée en tant que stratégie d'atténuation réalisable pour ce site.

▪ **Plantation d'arbres.** Ils ont trois mécanismes principaux de refroidissement. Les arbres rafraîchissent l'air qui les entoure par évapotranspiration et en absorbant la chaleur de la masse de leurs feuilles. Ils agissent comme un brise-vent pour réduire le taux d'infiltration d'air chaud dans les bâtiments. Ils ombragent les surfaces et réduisent de moitié le rayonnement du ciel dégagé, ce qui diminue la température de surface jusqu'à 25 °C (Akbari, 1993). Les arbres ont été retenus comme stratégie d'atténuation pour le site de l'école publique Mary Johnson. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

### Avantages des arbres dans les cours d'école de Waterloo

---

<b>Cour de récréation</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Diminution de la température de la surface à l'ombre jusqu'à 25 °C</li><li>· Diminuer la température de l'air à l'ombre d'environ 10 °C</li></ul>
<b>Coût fonctionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Réduire les coûts de refroidissement de 25 % pour la proportion de la surface du bâtiment ombragée par des arbres</li><li>· Diminuer les coûts de refroidissement par admission d'air rafraîchi (généralement 40 % du coût) jusqu'à 10 °C</li></ul>
<b>Quartier</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Réduire les gains de chaleur par rayonnement et par convection pour les propriétés situées à moins de 80 m environ</li></ul>
<b>Ville</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Contribuer au refroidissement général de la ville (0,15 °C)</li></ul>

---

### 5.2.2 Les cours de récréation, des îlots de fraîcheur

Dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 du gouvernement du Québec, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a reçu le mandat de soutenir les collectivités et les réseaux de la petite enfance et de l'éducation afin de mettre en place des mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains (ICU). Au cours des années 2011 et 2012, plusieurs projets de création d'îlots de fraîcheur ont été mis en place dans divers arrondissements de la ville incluant, entre autres, des actions de végétalisation et d'aménagements de cours d'écoles, de terrains sportifs et de stationnements.

Six projets et sites, représentatifs de divers milieux, ont été sélectionnés dans la région de Montréal dans le but de quantifier les performances des mesures d'atténuation des ICU. Sur les six opérations évaluées, deux sont des écoles : « *Place fraîcheur à l'école Calixa-Lavallée* » et « *Îlots de fraîcheur urbains : les écoles d'abord* », ce dernier concernant plusieurs cours d'école de l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve.

Cette analyse, conduite par l'INSPQ avec le service de météorologie du Canada d'Environnement Canada<sup>34</sup> a été une première dans le domaine des prévisions environnementales urbaines. Elle a permis l'acquisition de connaissances et le développement de méthodes pertinentes contribuant à améliorer les nouveaux projets de lutte aux ICU.

#### 5.2.2.1 Techniques d'évaluation des gains de fraîcheur

Pour évaluer les bénéfices environnementaux des aménagements réalisés en matière de gains de fraîcheur, plusieurs techniques ont été employées.

- **Modélisation à haute résolution.** Pour chaque projet, deux simulations à haute résolution ont été effectuées pour chacun des épisodes d'ICU, soit une première simulation où les propriétés des matériaux reflétaient la situation avant les travaux, et la seconde après les réaménagements. La modélisation numérique offre la meilleure comparaison des sites avant et après les réaménagements, notamment en raison de sa résolution élevée et en évitant les contraintes physiques liées aux instruments de mesure. Elle a montré que l'effet rafraîchissant des modifications des sites apparaît davantage la nuit lorsque les matériaux relâchent l'énergie accumulée durant le jour.
- **Imagerie thermique satellitaire.** Les résultats obtenus par cette méthode sont présentés sous forme d'images aériennes sur lesquelles on peut comparer les sites sélectionnés avant et après les réaménagements.
- **Mesures sur le terrain.** Trois séries temporelles de températures de l'air ont été choisies afin d'effectuer des comparaisons avec les observations des températures de l'air de chacun des projets sélectionnés durant les étés 2011 et 2012.

#### 5.2.2.2 Différencier les ICU de la canopée urbaine et les ICU de surface

Les ICU de la canopée urbaine se caractérisent par une différence entre la température de la couche d'air à la hauteur moyenne des bâtiments en milieu urbain, soit de 1,5 à 5 mètres, et la température de l'air en milieu rural dans les mêmes conditions météorologiques. Ces différences sont plus marquées durant la nuit, où le taux de refroidissement de l'air en milieu urbain est plus lent que celui du milieu rural. Pour certaines villes, ces écarts de température peuvent atteindre jusqu'à 12 °C, lors de nuits claires et par vent calme (Oke, 1987). Les différences entre les propriétés thermiques des surfaces présentes dans les zones urbaines et rurales sont à l'origine de ces variations de température.

L'îlot de chaleur de surface se caractérise par la différence entre la température radiative de la surface urbaine et celle de la surface rurale. Les ICU de surface affichent une grande variabilité spatiale intra-urbaine, comme les ICU de la canopée urbaine. Toutefois, le cycle diurne de

---

<sup>34</sup> Environnement Canada. 2014. Étude de performance de projets de lutte aux îlots de chaleur urbains dans la région de Montréal. Service météorologique du Canada – Région du Québec (SMC-QC), 142 pages.

l'intensité des ICU de surface est caractérisé par un maximum le jour, au moment où le rayonnement solaire incident est maximal. Par ailleurs, lorsque le vent est faible et que le ciel est dégagé, l'évolution nocturne de l'intensité des ICU de surface est similaire à celle des ICU de la canopée urbaine.

### 5.2.2.3 Évaluation des deux écoles rafraîchies

#### ▪ L'école Calixa-Lavallée de Montréal-Nord, une amélioration incomplète

Les modifications ont concerné les terrains sportifs, la cour de l'école, et le stationnement, situé à l'extrémité sud du site : augmentation de la surface végétale (gazon, arbres et arbustes) et des surfaces claires (Bituclair, béton gris pâle, dalles sans coloration, etc.).

Les réductions de température sont particulièrement marquées pour cette école, notamment en raison de l'augmentation importante des surfaces végétalisées. Près de la moitié de la surface asphaltée a été remplacée par des plantations ou des surfaces claires. Les réaménagements ont donné lieu à une réduction moyenne de température d'environ 1 °C et une réduction maximale de 2,9 °C

On peut aussi observer les gains et pertes thermiques en pourcentage. Pour ce projet, seule la plantation d'arbres sur le stationnement sud-ouest semble avoir créé un effet de fraîcheur. La construction d'un pavillon d'hôtellerie et d'un stationnement au nord du site a eu l'effet inverse. De plus, la piste d'athlétisme a été recouverte d'un tapis sportif de couleur bleue au lieu d'être faite avec le Bituclair prévu initialement.



Légende : Sur l'image de droite, les chiffres en rouge montrent une augmentation de la valeur entre 2008 et 2013 et impliquent un effet d'ICU de surface plus élevé. Les chiffres en bleu montrent une réduction de la valeur entre 2008 et 2013 et impliquent un effet d'ICU de surface moins élevé.

**Figure 3 Vues aériennes du site de l'école Calixa-Lavallée en 2008 (à gauche) et 2013 (à droite)**

Source : Courtoisie du SMC-QC d'Environnement Canada

- **La cour de l'école St Clément**

Cette école, située dans un quartier à forte densité urbaine, est l'une des écoles de l'opération « *Îlots de fraîcheur urbains : Les écoles d'abord* ». Les modifications effectuées : ajout de végétation, réduction des surfaces imperméables, aménagement d'un jardin et installation de dispositifs créant de l'ombre.

À la différence de l'évaluation positive de la qualité de vie dans l'école St Clément après les réaménagements, les résultats montrent une augmentation de l'effet d'ICU (gains thermiques de 86 et 113 % pour les deux sites d'observations). Bien que le terrain réaménagé semble avoir un albédo moindre que la surface précédente, d'après les vues aériennes, l'absence d'information quant à sa surface n'a pas permis de déterminer la cause exacte de cette augmentation. De plus, les dates de la prise d'images satellites diffèrent sensiblement, ce qui a pu influencer les résultats.

L'absence de description détaillée quant aux types de surfaces aménagées (matériaux, couvert végétal, etc.) et leurs dimensions avant et après les travaux a rendu impossible la modélisation à haute résolution pour la cour de cette école.

**Évaluation de la qualité de vie avant et après les aménagements contre l'ICU<sup>35</sup>**

	Cour de l'école St-Clément Avant les travaux <sup>1</sup>	Cour de l'école St-Clément Après les travaux <sup>1</sup>
Beauté	3,7	1,8
Confort	3,7	1,8
Rafraîchissement	3,7	1,8
Sécurité	2,8	2,0

<sup>1</sup> Moyenne sur une échelle à 5 points où 1 = très beau/confortable/frais/sûr et 5 = très laid/inconfortable/chaud/dangereux.

#### 5.2.2.4 Enseignements de l'étude de performance des projets de lutte aux ICU

- **Gains de fraîcheur notable pour certains projets sélectionnés.**
- **Nécessité de descriptions précises.** La prise de mesures ainsi que la description des surfaces et des matériaux employés avant et après les aménagements sont des éléments importants à obtenir afin d'évaluer la réponse thermique des projets de lutte aux ICU. Le choix des matériaux et de leur couleur a pu avoir un impact négatif sur la modification de l'effet d'ICU à certains endroits. De plus, les changements apportés aux projets en cours de réalisation ont pu occasionner des modifications sur la réduction anticipée de l'effet d'ICU.
- **Efficacité de plusieurs interventions** mises en place pour réduire l'effet d'ICU (réduction de la surface bétonnée, végétalisation, etc.), mais pas de toutes. Certaines devront être priorisées afin de réaliser le plus de gains de fraîcheur possible.
- **Superficie des projets suffisamment importante** pour obtenir un effet significatif et mesurable avec les outils existants.

<sup>35</sup> Beaudoin M, Gosselin P. Un programme de santé publique efficace pour réduire les îlots de chaleur urbains au Québec, Canada. Rev Panam Salud Publica. 2016; 40 (3): 160–66.

## 5.2.3 Les cours de récréation, moteurs d'amélioration du mieux-être des enfants

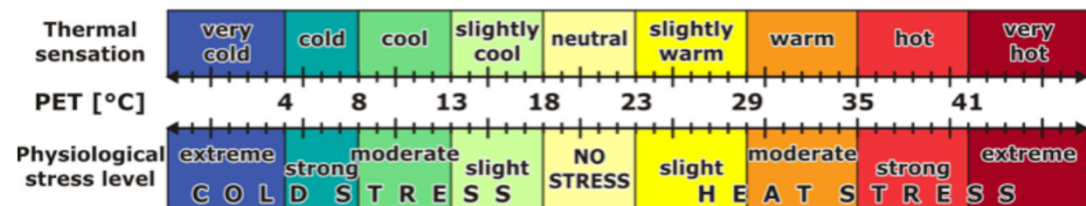
### 5.2.3.1 En climat méditerranéen

Une équipe de l'Université de Thessalie a effectué une première étude<sup>36</sup> qualitative et quantitative sur les conditions de stress thermique dans deux cours d'école de Volos, ville côtière du centre de la Grèce. Les paramètres météorologiques (vitesse du vent, température, humidité relative et rayonnement solaire) ont été enregistrés à 70 et à 55 points de mesure dans les cours d'école, de 14h00 à 15h30 heure locale, en mai et juin 2011. Les points de mesure ont été répartis de manière à obtenir les valeurs aux points directement exposés au soleil, à l'ombre des arbres et des structures de construction et à proximité des structures de construction. Les conditions de perception thermique et de stress thermique ont été évaluées à l'aide de la température physiologiquement équivalente (PET, °C). L'impact de l'albédo du matériau, la réflexion du rayonnement par les structures et les obstacles, ainsi que différentes espèces d'arbres sur la perception thermique et les conditions de stress thermique ont également été évalués. L'analyse a montré que les arbres entraînaient une réduction du rayonnement solaire incident comprise entre 79 et 94 %, en fonction de l'espèce, de la dimension de la cime, de la hauteur de l'arbre et de la surface de la feuille.

Les valeurs de PET ont été principalement affectées par le rayonnement solaire et la vitesse du vent. Les arbres ont entraîné une réduction des valeurs de PET pouvant atteindre 37 %, tandis qu'une augmentation de 1 m s<sup>-1</sup> de la vitesse du vent a entraîné une réduction de 3,7 à 5,0 °C de la valeur de PET. La zone d'ombrage effective dans les deux cours d'école était petite (27,5 et 11 %). Les auteurs recommandent que les résultats de cette étude soient exploités par les responsables de la planification urbaine lors de la conception ou de l'amélioration de l'environnement extérieur d'un complexe scolaire.

Après réaménagement bioclimatique d'une cour d'école urbaine reposant principalement sur l'insertion d'ombrages et le remplacement des surfaces dures par une couverture végétale, les mêmes auteurs<sup>37</sup> ont mesuré l'amélioration du microclimat et des conditions de stress thermique. Le logiciel ENVI-met (version 4) a été utilisé pour simuler le climat en milieu urbain et évaluer les effets de l'atmosphère, de la végétation, de l'architecture et des matériaux.

Les valeurs de l'indice biométéorologique PET (température physiologiquement équivalente, en °C) se situaient dans la plage de stress thermique extrême (> 41 °C) dès le matin à midi pour 80,5 % de la surface de la cour. Avec le réaménagement, 69,9 % de la superficie de la



<sup>36</sup> Antoniadis D. et al. Evaluation of thermal perception in schoolyards under Mediterranean climate conditions. Int J Biometeorol. 2016 Mar;60(3):319-34

<sup>37</sup> Antoniadis D. et al. Simulation of schoolyard's microclimate and human thermal comfort under Mediterranean climate conditions: effects of trees and green structures. Int J Biometeorol. 2018 Nov;62(11):2025-2036.

cour a été améliorée de deux ou trois classes d'échelle PET, ce qui a permis d'améliorer le microclimat dans 82 % de la superficie totale de la cour. Les cimes des arbres ont réduit le rayonnement incident direct de plus de 90 %, les indices Tmrt (température moyenne radiante) et PET ont été réduits respectivement de 31 ° C et de 19 ° C et les températures au sol des surfaces enherbées humides et des surfaces dures, ont été diminuées respectivement de plus de 20 ° C et 14 ° C.

### 5.2.3.1 En climat urbain dense

À Paris, les cours d'écoles et collèges représentent 70 hectares de surface réparties de manière homogène sur le territoire de la capitale. Ce sont des surfaces bétonnées et imperméables qui contribuent grandement à la formation des îlots de chaleur urbains. Ces espaces sont donc des opportunités d'action pour la création d'îlots de fraîcheur.

Dans le cadre du projet européen FEDER *Urban Innovative Actions*, la Ville de Paris a l'ambition de transformer les cours de récréation parisiennes en cours O.A.S.I.S. : Ouverture, Adaptabilité, Sensibilisation, Innovation et lien Social. Une cour plus fraîche en période de canicule et une plus grande proximité des enfants avec la nature en sont les objectifs. Dès 2018, des cours Oasis ont été aménagées dans trois établissements avec la programmation de la transformation de toutes les cours parisiennes d'ici 2040.

Le cahier des charges minimal intègre les solutions suivantes :

- Remplacement des surfaces asphaltées par des matériaux innovants, de couleur claire, perméables et adaptés aux fortes chaleurs, ainsi que des zones de pleine terre.
- Renforcement de la végétalisation : arbres, murs et toits végétalisés, jardins et potagers pédagogiques.
- Création de zones ombragées, végétales ou artificielles.
- Installation de fontaines et jeux d'eau.

Plusieurs solutions innovantes seront expérimentées en fonction des spécificités de chaque établissement : rafraîchissement passif des bâtiments comme *le cool roof*<sup>38</sup>, récupération des eaux pluviales, fabrication locale de mobilier, récupération d'énergie cinétique, etc.

À Paris, une mesure novatrice a déjà été expérimentée pour les chaussées lors d'épisodes de chaleur, l'humidification des surfaces<sup>39</sup> peut être utilisée pour les cours de récréation. Elle consiste à utiliser l'eau non potable, provenant du ruissellement des eaux de pluie, pour arroser

---

<sup>38</sup> Toiture réfléchive peinte en blanc. Après un retour d'expérience très positif à New-York, la Ville de Paris l'a testé sur une école primaire où la température des classes du dernier étage était de 38 °C. Diminution de la température de ces salles de classe de 6 °C après augmentation de l'albédo de la toiture.

<sup>39</sup> Agence parisienne du climat. APC 2014.

les surfaces de bitume. L'eau, pour s'évaporer, utilise la chaleur accumulée par le bitume diminuant ainsi sa température. En plus de diminuer les températures de surface et d'ambiance, cette technique diminue la quantité de particules dans l'air.

### 5.2.3.2 Avec une végétation qui améliore la qualité de l'air

Les îlots de chaleur contribuent à l'augmentation de la température atmosphérique, ce qui accentue le phénomène du smog dont les épisodes sont plus fréquemment observés durant la saison estivale. En effet, une plus grande quantité de polluants participant à la formation du smog sont libérés en présence de chaleur. Il existe donc une « toxicité croisée entre la pollution et les îlots de chaleur ».

Face à cette pollution de l'air, la végétation améliore la qualité de l'air. Outre la production d'oxygène, le feuillage et l'écorce des arbres fixent les poussières atmosphériques et surtout les particules en suspension ( $PM_{1, 2,5, 10}$ ) dont la nocivité est avérée, diminuent les particules de métaux lourds, l'ozone ( $O_3$ ).

Un arbre de ville mature peut capter jusqu'à 20 kg de poussières par an<sup>40</sup> ce qui réduit la concentration en particules dans l'air d'environ 10 à 15 %, par exemple, dans une rue bordée d'arbres. Cela influence positivement la santé et réduit les maladies associées à la mauvaise qualité de l'air, surtout pour les plus jeunes enfants.

Les arbres peuvent séquestrer des métaux lourds<sup>41</sup>. Par exemple, un érable à sucre d'environ 30 cm de diamètre peut séquestrer 60 mg de cadmium, 140 mg de chrome, 820 mg de nickel et 5 200 mg de plomb pendant une saison de croissance.

Néanmoins ces impacts positifs doivent être tempérés par des pertes de tolérance vis-à-vis des pollens *a priori* inoffensifs pour la plupart, mais certains allergisants pour environ 20 % des personnes.

### 5.2.3.3 Avec une stimulation de l'activité physique

Selon l'OMS, afin d'améliorer leur endurance cardiorespiratoire, leur état musculaire et osseux et les marqueurs biologiques cardiovasculaires et métaboliques, les enfants et jeunes gens âgés de 5 à 17 ans devraient cumuler au moins 60 minutes par jour d'activité physique d'intensité modérée à soutenue.

Une activité physique pratiquée de manière appropriée aide les jeunes à :

- développer un appareil locomoteur sain (os, muscles et articulations) ;

---

<sup>40</sup> Gaumont, C. Le verdissement montréalais, pour lutter contre les îlots de chaleurs urbains, le réchauffement climatique. 2007. In CRE MTL. Projet de lutte aux îlots de chaleur urbains.

<sup>41</sup> Vergriette Y et Labrecque M. 2007. Rôle des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de la littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais. Université de Montréal



- développer un appareil cardiovasculaire sain (cœur et poumon) ;
- développer une conscience neuromusculaire (coordination et contrôle des mouvements) ;
- garder un poids approprié.
- mieux surmonter anxiété et dépression.

Une étude de l'Université de Denver dans le Colorado<sup>42</sup> a examiné si les améliorations apportées à l'aménagement des cours d'école du Programme *Learning Landscapes* avaient entraîné une augmentation des niveaux d'activité physique chez les garçons et les filles et a évalué les aspects de conception de la cour d'école qui ont un impact sur l'activité physique. Dans un plan de recherche quasi expérimental, 6 écoles avec les cours d'école rénovées et 3 écoles de contrôle ont été divisés en zones d'activités. L'activité physique des enfants a été étudiée à l'aide de monitoring de la fréquence cardiaque et d'un accéléromètre dans chaque zone pendant la journée de classe, ainsi qu'après les heures de classe.

Le volume d'utilisation des cours d'école était significativement plus élevé et les élèves étaient nettement plus actifs dans les écoles des cours rénovées que dans les écoles de contrôle considérée par les parents comme des « jungles asphaltées ». Le type de surface influence les niveaux d'activité qui sont significativement plus élevés pour les garçons et les filles sur les surfaces souples.

Face à l'augmentation rapide du surpoids et de l'obésité chez les enfants, l'aménagement des cours de récréation représente une stratégie évidente pour changer les habitudes quotidiennes d'activité physique des enfants.

### À propos de l'auteur du rapport

Suzanne DÉOUX est docteur en médecine, spécialiste ORL, Professeur associé honoraire à l'Université d'Angers, Conceptrice du Master RISEB Risques en santé dans l'environnement bâti, Fondatrice de MEDIECO et de l'Ingénierie de santé du cadre bâti et urbain. Présidente de l'association Bâtiment Santé Plus et initiatrice des colloques Défis Bâtiment Santé depuis 2011. Membre du groupe de Réflexion Bâtiment responsable 2020-2050 (RBR2020-2050) du Plan Bâtiment Durable et rédactrice de la note « Bâtiment responsable et santé » (Octobre 2019).

Depuis plus de 30 ans, Suzanne DÉOUX développe une approche globale en santé environnementale centrée sur l'interaction Bâtiment & Santé avec publication de premiers ouvrages de référence *l'Écologie, c'est la santé* (1993), *Habitat Qualité Santé* (1997), *Le Guide de l'habitat sain* (2002, 2004), *Bâtir pour la santé des enfants* (2010) et plus récemment pour l'ADEME, *Le Guide Grand Air* (2016), *Choisir des fournitures scolaires sans risques pour la santé* (2019). Elle intervient dans de nombreuses formations des différents acteurs de la construction et de la santé. Dans le cadre de missions d'assistance à la maîtrise d'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre, elle participe à de très nombreux projets afin d'améliorer la prise en compte de la santé dans l'acte de construire et d'aménager la ville. Elle accompagne les industriels pour la caractérisation sanitaire des équipements et des produits de construction traditionnels mais aussi biosourcés, géosourcés, recyclosourcés, réemployés, réutilisés. Pour les gestionnaires de bâtiments, son expertise est sollicitée pour le diagnostic et la gestion de problèmes de qualité de l'air intérieur, d'exposition électromagnétique, etc.

<sup>42</sup> Brink L.A et al. Influence of Schoolyard Renovations on Children's Physical Activity: The Learning Landscapes Program. *American Journal of Public Health*. 2010, Vol 100, No. 9