

# CONCEPTION DES ÉCOLES

6 ÉLÉMENTS ESSENTIELS  
QUI INFLUENCENT LES RÉSULTATS  
DES ÉLÈVES

**VELUX®**

Commercial

---

Plus de

64M

d'écopiers  
européens et

4.5M

d'enseignants  
passent environ

200

heures par an  
à l'école

---

Les enfants passent environ

70%

de leur temps à  
l'intérieur ce qui  
représente plus d'

1

an sur l'ensemble de  
leur parcours à l'école  
primaire

... or, de nombreuses études  
indiquent qu'un environne-  
ment scolaire intérieur bien  
conçu stimule l'apprentissage  
ainsi que la santé et le  
bien-être des enfants.

---

## INTRODUCTION

Avez-vous déjà songé au fait que 64 millions d'enfants européens passent plus de temps à l'école que nulle part ailleurs, abstraction faite de leur foyer? Ils se rendent environ 200 jours par an à l'école et 70% de ce temps est passé dans des salles de classe<sup>1</sup>. Il est donc essentiel d'y favoriser un environnement d'apprentissage optimal. Comment?

Cette question est sans doute plus importante que jamais étant donné que la construction et la rénovation d'écoles s'apprêtent à connaître un boom sans précédent depuis les années 1970, en Europe et au Royaume-Uni. Tant pour les architectes que pour les éducateurs, il s'agit là d'une formidable opportunité de repenser l'établissement scolaire et la manière dont l'environnement physique peut être façonné pour avoir un impact positif sur l'apprentissage.

---

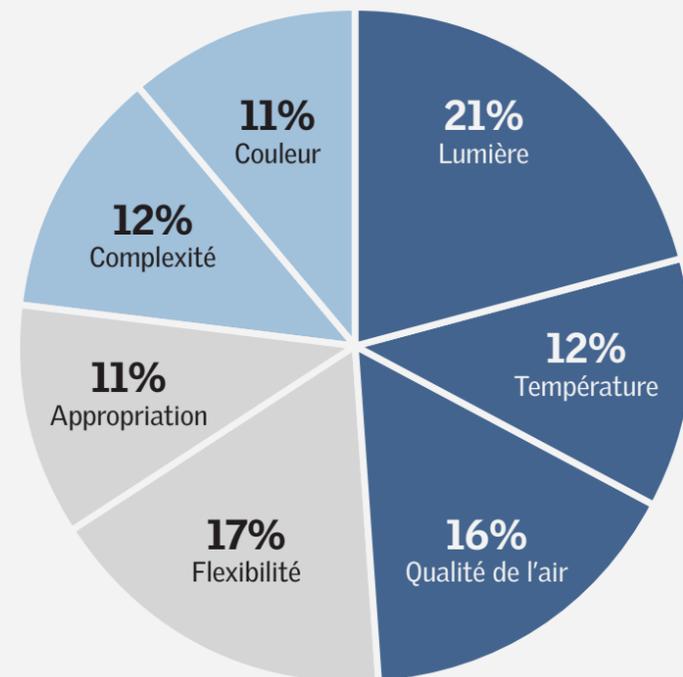
<sup>1</sup> SINPHONIE final report [LINK](#)

Ce guide et l'étude HEAD, de laquelle il s'inspire largement, évaluent trois caractéristiques physiques fondamentales de la conception d'école qui s'avèrent être particulièrement influentes pour l'apprentissage.

- Le naturel: lumière, température et qualité de l'air. Combinés, ces éléments représentent la moitié de l'impact de la conception de l'école sur l'apprentissage.
- La conception de la classe\*: appropriation et flexibilité représentent un quart de l'impact sur l'apprentissage.
- La stimulation: complexité et couleur représentent le dernier quart de l'impact sur l'apprentissage.

\* Dans l'étude HEAD, la conception de la classe est désignée par le mot "individualisation".

Nous nous sommes en outre penchés sur l'acoustique, que l'étude HEAD qualifie de "facteur secondaire" par rapport au naturel. Cela signifie que c'est de toute évidence un facteur important dans l'apprentissage, mais que "son importance est moindre par rapport à celle des autres facteurs."



### LE NATUREL

Lumière, température et qualité de l'air – impact le plus important sur l'apprentissage

49%

### LA CONCEPTION DE LA CLASSE

appropriation et flexibilité – impact moins important

28%

### LA STIMULATION

complexité et couleur – encore moins d'impact

23%

### Une étude novatrice

Une récente étude, menée à l'université de Salford au Royaume-Uni par le professeur Peter Barrett et son équipe d'experts en conception d'écoles, a clairement montré que des écoles primaires bien conçues peuvent stimuler considérablement les performances scolaires des enfants en lecture, écriture et mathématiques.

Selon la conclusion de leur étude novatrice, le projet HEAD (Holistic Evidence and Design)<sup>1</sup>, les différences dans l'organisation physique des classes sont à l'origine de 16% de la variation, sur une année, des progrès d'apprentissage des 3 766 élèves ayant participé à l'étude. Autrement dit, plus la salle de classe est bien conçue, meilleurs sont les résultats scolaires des enfants.

### Les éléments essentiels

Les conclusions de l'étude HEAD révèlent que certains éléments sont indissociables de l'amélioration des capacités d'apprentissage dans les salles de classe.

- La lumière naturelle

<sup>1</sup> Clever Classrooms – Summary Report of the HEAD Project [LINK](#)

- La qualité de l'air intérieur
- L'environnement acoustique
- La température
- La conception de la classe
- La stimulation

C'est la première fois qu'on démontre clairement, en situations réelles, l'effet sur les usagers de la conception générale de l'espace physique d'apprentissage. Si certains aspects spécifiques, tels que la qualité de l'air, ont déjà été étudiés dans le passé, l'impact de leur combinaison sur des personnes bien réelles n'était jusqu'ici fondé que sur l'intuition et des souhaits irréalisables.

Pendant trois ans, les chercheurs du projet HEAD ont réalisé des enquêtes détaillées au sein de 153 classes dans 27 écoles différentes et ont rassemblé des statistiques concernant les résultats des enfants étudiant dans ces locaux.

### L'importance des facteurs sensoriels

L'étude a examiné un large éventail de facteurs sensoriels et utilisé une modélisation statistique multiniveau pour isoler les effets de la conception de la classe des autres facteurs tels que les élèves eux-mêmes et leurs professeurs. «Étonnamment, les facteurs communs

à toute l'école (p. ex. la taille, les voies d'accès, les installations spécialisées, les installations de récréation) sont loin d'être aussi importants que la conception des classes individuelles. La conclusion est avant tout que chaque classe doit être bien conçue.», ont noté les chercheurs dans leur rapport.

Ci-dessous, vous trouverez des directives pratiques concernant la manière de mettre en œuvre les résultats du projet HEAD dans votre prochain projet d'établissement d'enseignement. En lisant ces directives, pourquoi ne pas envisager une éventuelle application de ces principes de conception (pour un apprentissage optimal) à d'autres types de bâtiments afin de créer de meilleurs établissements de soins, lieux de travail et espaces de vie.

## CONTENTS

Lumière naturelle	5
Cas: Sågbäcksgymnasiet	10
Qualité de l'air intérieur	14
Cas: Ryparken Lille Skole	16
Environnements acoustiques	19
Température	21
Cas: Hessenwaldschule	24
Conception de la classe	27
Stimulation	30



LUMIÈRE NATURELLE



CAS: SÅGBÄCKSGYMNASIET



QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR



CAS: RYPARKEN LILLE SKOLE



ENVIRONNEMENTS ACOUSTIQUES



TEMPÉRATURE



CAS: HESSENWALDSCHULE



CONCEPTION DE LA CLASSE



STIMULATION



## 1 LA LUMIÈRE NATURELLE

Nous savons tous que le meilleur antidote au « cafard hivernal » est de faire une pause sous des horizons plus chauds, plus ensoleillés et de préférence agrémentés de plages de sable blanc et d'eaux cristallines.

L'effet revigorant de la lumière naturelle et de la chaleur peut également être ressenti, à moindre échelle, dans toute une série d'environnements allant de la maison au bureau, en passant par les bâtiments publics, les écoles et les universités. Il n'est peut-être dès lors pas surprenant que, dans le cadre d'une récente étude<sup>1</sup> consacrée à l'impact de la conception physique des bâtiments d'enseignement sur les résultats des élèves, la lumière s'avère être un des paramètres individuels clés.

<sup>1</sup> Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms (2016) C. Maesano and I. Annesi-Maesano, CLIMA 2016, 12th REHVA World Congress 2016, Aalborg [LINK](#)

## DE LA LUMIÈRE DU JOUR DANS LES ÉCOLES

Les élèves se trouvant dans la classe la plus baignée de lumière naturelle ont progressé:

20%

plus vite aux tests de mathématiques

26%

plus vite aux tests de lecture

## UNE LUMIÈRE NATURELLE PLUS ABONDANTE STIMULE L'APPRENTISSAGE

Les élèves dont la classe possédait une verrière bien conçue ont progressé:

19-20%

plus vite que ceux dont la classe était dépourvue de verrière

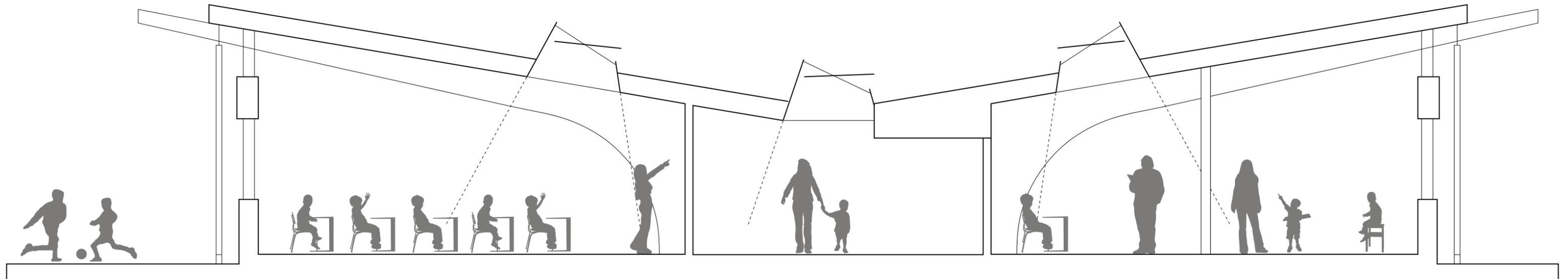
Nous avons constaté que les élèves se trouvant dans des classes où les fenêtres pouvaient être ouvertes progressaient:

7-8%

plus vite que ceux assis dans des classes à fenêtres fixes

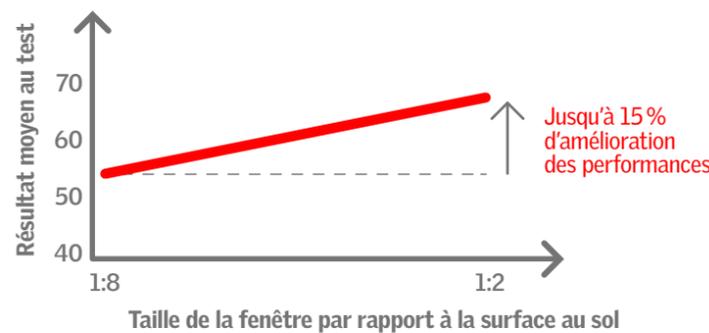
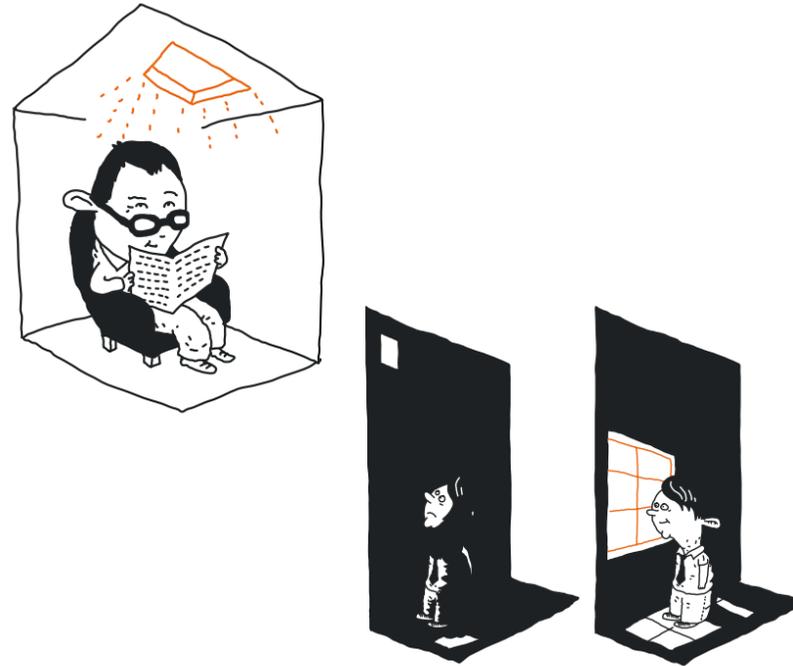
1999 par George Loisos pour The California Board for Energy Efficiency Program. Présenté par HESCHONG MAHONE GROUP.

Résultats de tests de plus de 21000 élèves dans 2000 classes de districts situés dans le comté d'Orange, Californie, à Seattle, à Washington et à Fort Collins, Colorado.



#### 4 manières d'améliorer les conditions lumineuses en classe

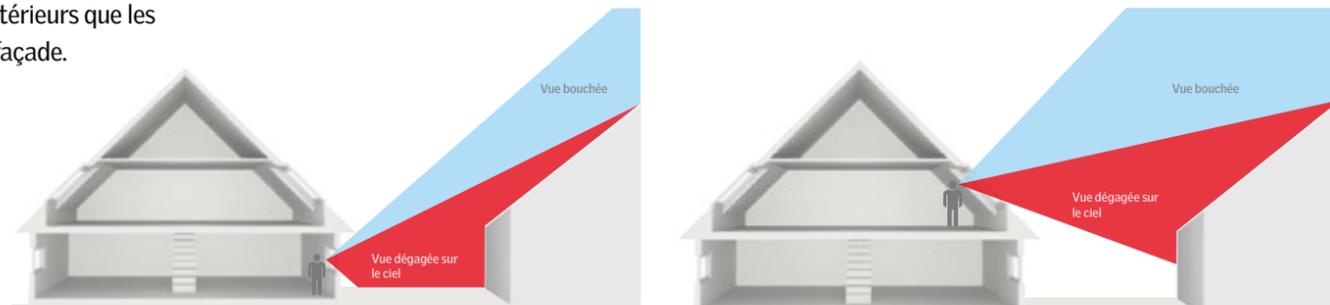
1. Lors de la conception d'écoles et de salles de classe, veillez à ce que la lumière naturelle soit la principale source de lumière pendant la majeure partie des heures de clarté durant l'année.
2. Choisissez des systèmes d'occultation qui peuvent offrir un haut niveau de qualité lumineuse naturelle tout en préservant la vue sur l'extérieur.
3. Concentrez-vous sur les espaces les plus utilisés de l'école – investissez dans des solutions pour les lieux qui accueillent les élèves – et tolérez des zones légèrement plus sombres dans la pièce si nécessaire.
4. Intégrez dans la conception globale de l'école des solutions architecturales réussies fondées sur la lumière naturelle, qui combinent les avantages des fenêtres de façade et de toit.



#### Une lumière naturelle plus abondante stimule l'apprentissage

Aux tests de mathématiques et de logique, les élèves qui travaillent dans des classes dotées de fenêtres plus grandes obtiennent des résultats 15% meilleurs que dans des classes avec de petites fenêtres.

Les fenêtres de toit et les verrières souffrent généralement moins des obstacles extérieurs que les fenêtres en façade.



#### Pourquoi la lumière du jour?

Plusieurs études montrent que la lumière naturelle est non seulement bénéfique pour la santé et le bien-être général des enfants, mais aussi qu'elle peut sensiblement améliorer les résultats scolaires.

Une de ces études<sup>1</sup> a été menée par l'université de la Sorbonne en utilisant les données de l'étude SINPHONIE qui couvre 13 pays européens et à laquelle 2 387 enfants ont participé. Elle a conclu que les résultats scolaires peuvent s'améliorer de 15 % quand les élèves travaillent dans des classes dotées de fenêtres plus grandes – en raison d'un apport plus important en lumière naturelle et d'une meilleure vue sur le monde extérieur.

La conclusion de l'étude Clever Classrooms<sup>2</sup> menée par l'université de Salford, Royaume-Uni, est qu'une bonne lumière naturelle contribue à créer une sensation de confort physique et mental dont les avantages vont bien au-delà du simple confort de vue.

#### Comment concevoir avec la lumière naturelle?

S'il est certes parfois nécessaire de renforcer la lumière naturelle grâce à un éclairage artificiel abondant et

- 1 Impact of Lighting on School Performance in European Classrooms (2016) C. Maesano and I. Annesi-Maesano, CLIMA 2016, 12th REHVA World Congress 2016, Aalborg [LINK](#)
- 2 Clever Classrooms (2015), Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester [LINK](#)

de bonne qualité quand la luminosité extérieure n'est pas suffisante, nous devons essayer de faire de la lumière du jour la principale source d'éclairage dans les écoles. Si elle est contrôlée de façon adéquate, la lumière du soleil est généralement bien accueillie comme une source d'éclairage dans les bâtiments aux quatre coins d'Europe.

Quand des fenêtres ou des verrières sont orientées au nord, la lumière naturelle qui pénètre dans une pièce a tendance à être plus douce et plus diffuse, avec de subtils changements de niveaux lumineux et de texture de couleur au fil de la journée. Avec d'autres orientations, la lumière du soleil renforce la luminosité générale des intérieurs, avec des zones spécifiques où la lumière se concentre.

Le défi que représente la conception utilisant la lumière naturelle est particulièrement évident dans les salles de cours profondes où la distance entre les fenêtres et le fond de la classe est considérable. Dans ce genre d'environnements, on remarque souvent une disparité dans les niveaux de lumière : lumineux près des fenêtres et plus sombre vers le fond. Dans les situations où la forme ou la taille des classes ne permet pas des niveaux de lumière adéquats dans toute la pièce et/ou la possibilité d'installer une fenêtre est limitée, les verrières sont souvent la solution idéale. En l'absence d'accès direct au ciel en raison de la présence d'étages supérieurs,

les puits de lumière peuvent constituer une alternative efficace.

Un des avantages collatéraux de la création d'ouvertures pour la lumière naturelle est qu'elles offrent aussi une connexion sur l'extérieur, nous permettant ainsi de suivre les changements météorologiques, l'heure de la journée et l'époque de l'année.

Il y a de nombreux facteurs à prendre en compte quand on réfléchit à la quantité de lumière qui sera obtenue grâce à des fenêtres ou verrières. Parmi ceux-ci : la transmittance du vitrage, l'épaisseur du mur, les obstacles extérieurs, les extensions en surplomb (p.ex. : avancées, balcons) et sur les côtés (p. ex. : extension du bâtiment même), la profondeur de la pièce, etc. Quand on prend en compte tous ces facteurs, une verrière offre généralement plus du double de lumière naturelle qu'une fenêtre de façade de taille égale.

#### Prévenir un éblouissement excessif

L'éblouissement apparaît quand des zones trop lumineuses sont situées dans le champ de vision ou quand le contraste est trop fort. Cependant, l'éblouissement causé par la lumière naturelle n'est pas le même que celui induit par l'éclairage électrique en ce qui concerne l'ampleur, la distribution de la luminance complexe et l'acceptation par les usagers (p. ex. : les gens ont tendance à mieux tolérer l'éblouissement dans un environnement éclairé naturellement)<sup>4</sup>. Dans

## Normes de construction et niveaux de lumière

Dans un espace intérieur, le rendement de la lumière naturelle dépend en grande partie de la disponibilité et des propriétés de la lumière naturelle à l'emplacement du bâtiment (p. ex. les conditions climatiques dominantes). Le projet de norme européenne L'éclairage naturel des bâtiments (PR NF EN 17037) propose de changer la base des évaluations de la lumière naturelle en « objectifs de facteur de lumière du jour » fondés sur l'occurrence de niveaux d'éclairage lumineux extérieur provenant de données climatiques enregistrées. La « connectivité climatique » du projet indique qu'une pièce doit atteindre un niveau cible de lumière naturelle à hauteur du plan de travail sur un pourcentage spécifié de la surface au sol pertinente pour la moitié des heures de clarté de l'année. Le niveau de lumière du jour visé est basé sur la fourniture d'un éclairage lumineux intérieur supérieur ou égal à 300 lux, correspondant à l'exigence d'éclairage sur les lieux de travail (voir ci-dessous). Le niveau de

lumière du jour doit être atteint pour 50 % de la surface au sol pertinente dans une pièce avec fenêtres en façade ou dans un toit en pente. De plus, un objectif minimum de niveau de lumière du jour fondé sur la fourniture d'un éclairage lumineux intérieur supérieur ou égal à 100 lux est nécessaire pour 95 % du plan de travail. Dans une pièce uniquement éclairée par des fenêtres de toit dans une construction de toit pratiquement horizontale, le niveau de lumière du jour visé doit être atteint sur 95 % de la surface au sol pertinente. L'objectif correspondant en termes de facteurs de lumière du jour pour chaque capitale européenne est disponible dans la norme, mais les valeurs sont supérieures pour les pays situés dans le nord de l'Europe par rapport à ceux du sud du continent en raison de la baisse naturelle de lumière du jour disponible.

Les niveaux absolus de lumière qui sont nécessaires pour une tâche visuelle particulière dépendront du caractère de la tâche et de l'en-

vironnement visuel dans lequel elle est accomplie. Une norme européenne, EN 12464-1 : lumière et éclairage des lieux de travail – partie 1: Lieux de travail intérieur, fournit des informations concernant les niveaux de lumière intérieurs applicables dans un environnement scolaire. De manière générale, les niveaux de lumière intérieurs suivants sont recommandés:

Luminosité	Niveau de tâche visuelle	Espaces de construction
100	Limité au mouvement et à la perception occasionnelle	Zones de passage, couloirs
300	Assez simple	Classes (luminosité minimale pour toutes les zones d'une classe), salles de travail, salles informatiques
500	Modérément difficile	Auditoriums, salles de conférence, salles de travaux pratiques et laboratoires, bibliothèques (coins lecture), tableau noir/tableau blanc dans les salles de cours

une classe, si les niveaux élevés de lumière naturelle offerts par de grandes fenêtres et verrières sont optimaux, ils doivent néanmoins être contrôlés pour éviter tout éblouissement excessif lié à la lumière directe du soleil. Ce problème devient de plus en plus critique avec la généralisation de l'utilisation en classe de tableaux blancs interactifs et de projecteurs.

Un aspect important à prendre en compte dans le cadre du contrôle de l'éblouissement et du contraste est l'orientation des fenêtres. Les grandes surfaces vitrées doivent idéalement être orientées au nord afin de permettre à une lumière naturelle diffuse de pénétrer autant que possible tout au long de la journée/de l'année.

Une autre solution efficace pour contrôler l'éblouissement est l'installation de stores opaques faciles à manipuler afin de régler les niveaux de lumière naturelle. Une alternative aux stores est une occultation extérieure permanente, mais celle-ci peut malgré tout nécessiter des dispositifs d'occultation supplémentaires, selon les conditions et nécessités particulières. D'autres protections solaires comme des rideaux, des stores rideaux, etc. en textile, en plastique ou en matériaux opaques perforés peuvent également être utilisées. Elles réduiront toutes l'éblouissement à des degrés divers en fonction : des propriétés optiques du matériau, de l'orientation de la fenêtre, de l'em-

placement géographique et des heures d'ensoleillement annuel, de la zone vitrée et de la transmittance de la vitre, et de la distance entre l'utilisateur et la source de lumière. Les propriétés du matériau et les niveaux de protection contre l'éblouissement de ces types de protections solaires sont définis dans la norme européenne EN 14501 Fermetures et stores, et le projet de norme PR NF EN 17037 L'éclairage naturel des bâtiments.

Le contraste est un problème tout aussi important. Quand il est question d'éblouissement et de contraste, la différence entre luminosité absolue et luminosité relative est capitale. Pensez à la manière dont les feux de route peuvent être éblouissants de nuit et à peine visibles en plein jour. De même, une puissante source de lumière provoquera un éblouissement et un contraste bien moindres dans une pièce bien éclairée de manière générale par rapport à, par exemple, une grande fenêtre unique recevant la lumière directe du soleil dans une pièce sombre. Dans le champ de vision, le « rapport de luminance » recommandé entre la tâche visuelle et l'environnement proche est de 1/10. Ce rapport de luminance est une expression du ratio entre la luminance dans le centre du champ visuel et la vision périphérique des environs<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> CLEAR Luminance Ratios, [LINK](#)

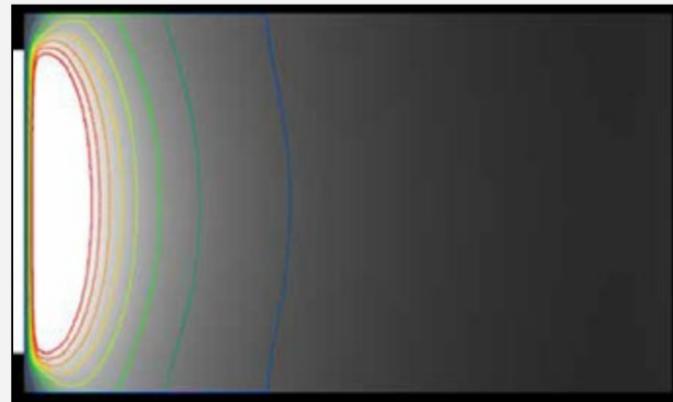
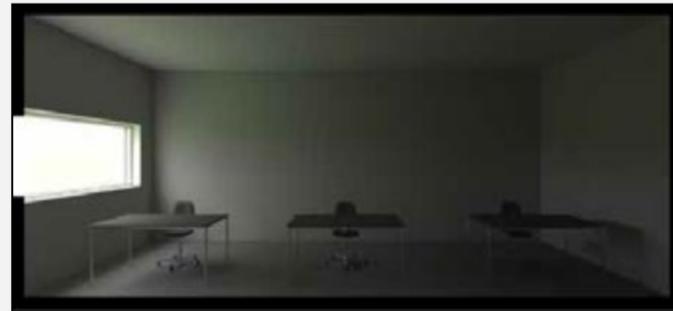
## Fenêtres ou verrières?

L'idéal pour obtenir une bonne distribution de la lumière naturelle dans une pièce est souvent d'utiliser plusieurs sources de lumière naturelle, par exemple une combinaison de verrières et de fenêtres. Cela peut aussi offrir des niveaux réduits d'éblouissement et de contraste. Il ne faut toutefois pas oublier l'importance de la vue : « Quand nous sommes assis à côté d'une fenêtre, nous préférons tolérer une grande quantité de lumière naturelle et profiter de la vue extérieure que baisser les stores et utiliser un éclairage artificiel. »<sup>4</sup>

Pour les pièces où même de grandes surfaces de fenêtres ne laissent pas entrer suffisamment de lumière ou dans lesquelles leur installation est tout simplement impossible (dans de très grandes classes, des salles de conférence ou dans des parties communes intérieures au centre du bâtiment), les verrières sont une excellente option à envisager. Des verrières ouvrantes stratégiquement situées dans la conception d'ensemble du bâtiment laissent entrer quantité de lumière naturelle durant les sombres mois d'hiver tout en apportant de l'air frais tout au long de l'année, en améliorant la qualité de l'air intérieur et en permettant de réguler la température.

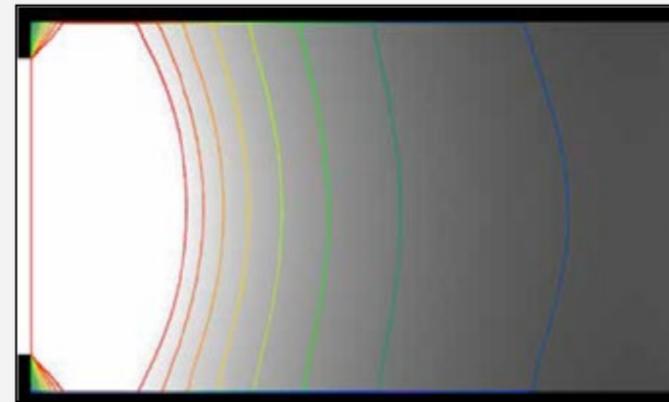
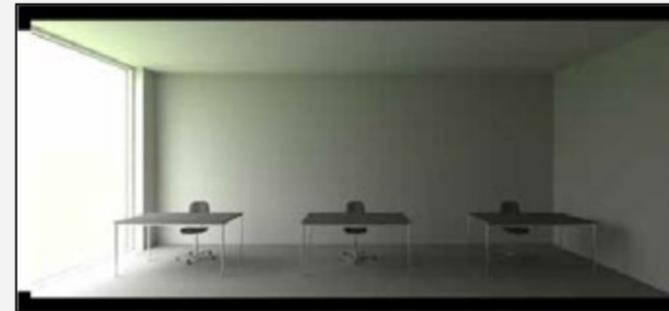
<sup>4</sup> "Design Innovations for Contemporary Interiors and Civic Art", Luciano Crespi, 2016

## Comment concevoir avec la lumière naturelle?



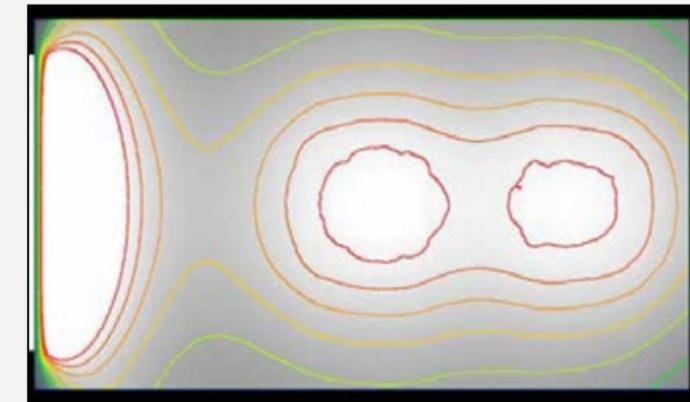
Petite fenêtre de façade  
(rapport vitrage-surface au sol de 10 %)

- Un FLJ de 2 %, à quelques mètres à peine de la façade
- Faibles niveaux de lumière du jour au fond de la pièce
- Seuls les lieux de travail proches de la fenêtre peuvent être considérés comme éclairés naturellement



Grande fenêtre de façade  
(rapport vitrage-surface au sol de 30 %)

- Un FLJ de 2 % à environ 4,5 mètres de la façade
- Niveaux de lumière naturelle très élevés près de la fenêtre et faibles à l'arrière
- Les deux premiers lieux de travail peuvent être considérés comme éclairés naturellement



Petite fenêtre de façade + verrières (rapport vitrage-surface au sol de 20 % - 11 % de fenêtres de façade + 9 % de verrières)

- Une combinaison de fenêtres de façade et de verrières offre des niveaux généreux et utiles de FLJ sur la totalité du plan de travail
- L'utilisation de verrières implique de meilleures performances en matière de lumière naturelle et de confort visuel
- Les trois lieux de travail peuvent être considérés comme bien éclairés naturellement



## CASE 1

### SÅGBÄCKS- GYMNASIET

Reconstruire le caractère d'une école avec beaucoup de lumière naturelle.

En 2012, les autorités locales ont mis un terme à plus de 10 ans de discussion en adoptant un plan de rénovation de la vieille école professionnelle de Huddinge, en Suède. Construite en 1961, l'école possédait une architecture classique des années 1960 et était en bon état.

Néanmoins, cinquante ans d'usure avaient laissé leurs marques et quand les plans de rénovation ont été approuvés, ils comprenaient le remplacement de plus de 100 vieilles verrières.



**Un style industriel emblématique idéal pour des verrières**

Une des particularités de Sångbäcksgymnasiet est son toit à redents. Cette caractéristique classique de l'ère industrielle est rapidement devenue un point central pour les chefs de projet chez ORIGO Arkitekter, le principal cabinet d'architectes. Åsa Machado : "Le pla-

fond à redents et la possibilité de verrières étaient des aspects centraux de nos plans. Nous en avons rapidement pris conscience. Nous avons décidé de donner accès à toute l'école à ce qui selon nous était le meilleur côté du site." Le toit à redents permet à quatre rangées de verrières orientées au nord d'éclairer l'intérieur. Si les anciennes

verrières étaient en verre dépoli avec effet assombrissant et un rendement énergétique particulièrement médiocre, les nouvelles sont capables de soutenir et d'alimenter abondamment la nouvelle cantine en lumière du jour, ventilation et contrôle énergétique.

- Library
- Café and lounge area
- Classrooms
- Northlight 100 modules



SEKTION C-C  
HUS A OCH C



### **Quand on est à la tête d'une école professionnelle, il faut investir dans ses étudiants**

Hans Almgren, le chef de l'établissement, décrit l'école comme « un bâtiment massif de style moderniste classique » et est heureux que le projet de rénovation ait pu préserver l'aspect et l'ambiance de l'architecture originale. "Ils ont réussi à conserver un aspect qui fait partie intégrante de l'esprit de l'école: la qualité des années 60", explique-t-il.

Le directeur est particulièrement enchanté par le rôle que joue la nouvelle zone centrale, avec son plafond à redents dominant, réinventant l'esthétique originale du bâtiment et profitant

pleinement du potentiel du plafond.

"La verrière était essentielle au changement positif. Les architectes s'efforcent toujours d'ouvrir le bâtiment, de laisser entrer la lumière et de créer de la profondeur visuelle. Nous n'avons ni angle mort ni coins sombres."

Hans Almgren a conscience de l'importance de créer un environnement d'apprentissage à la fois inspirant et digne. Il admet qu'une école professionnelle risque toujours d'être considérée comme un choix de seconde zone et c'est la raison pour laquelle le cadre est si important.

"Il est probablement vrai que la formation professionnelle n'a pas aussi bonne réputation, mais nous voulons

être les meilleurs dans notre secteur. Nos étudiants sont importants et nous voulons qu'ils profitent d'un environnement agréable et plaisant. Cela affecte leur confiance et leur enthousiasme à étudier."

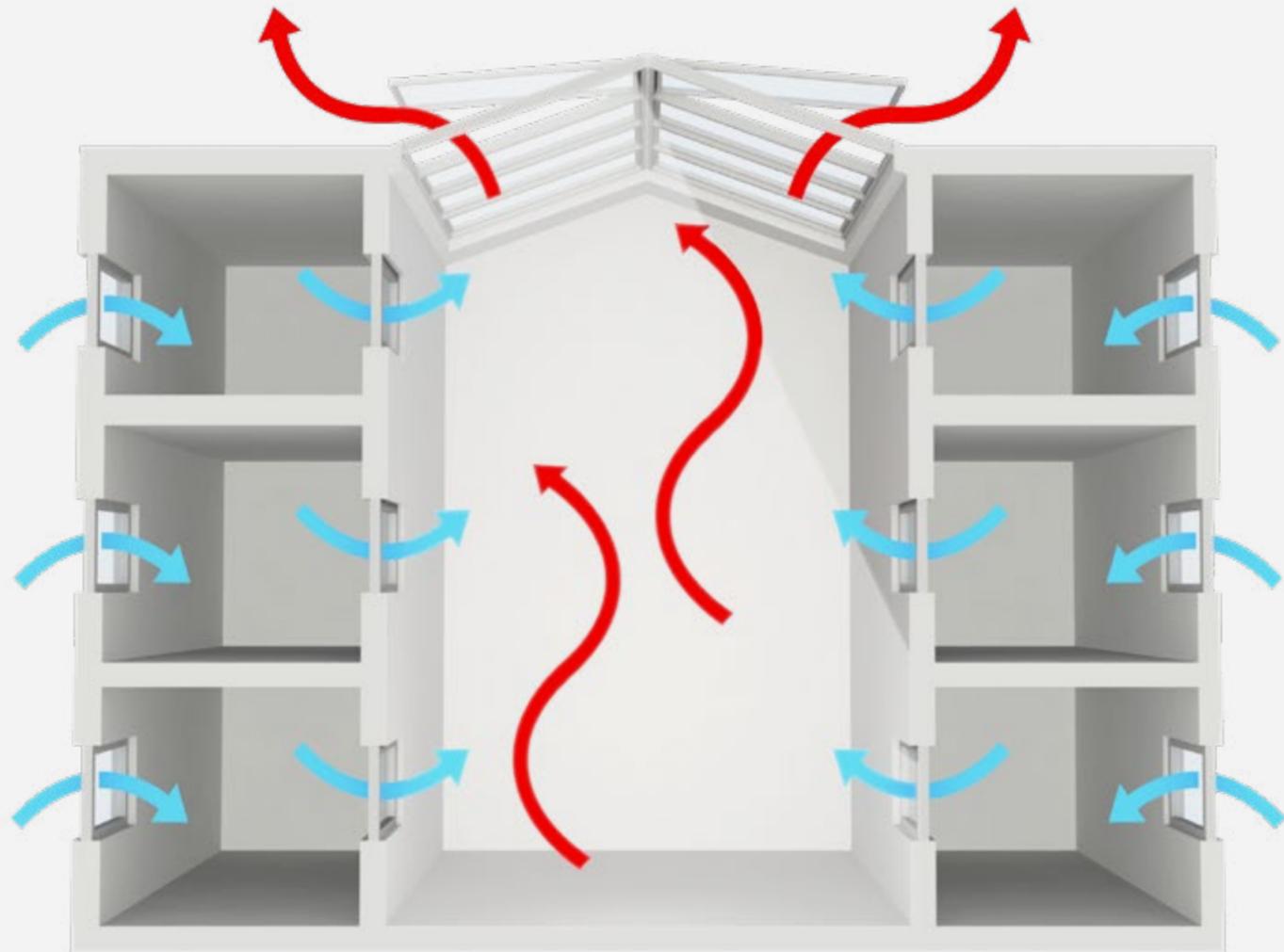
### **L'activité augmente dans un environnement spacieux et lumineux**

À l'intérieur du bâtiment, le changement est considérable. Alors que le vieux verre broché brun des anciennes verrières rendait l'intérieur sombre tout au mieux, le nouveau flot de lumière naturelle transforme totalement l'environnement, ce qui stimule sensiblement l'activité des élèves.



## Ventilation

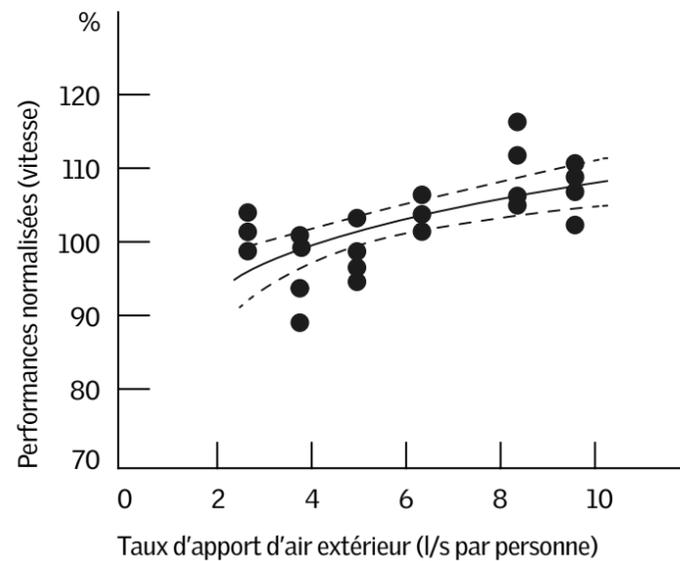
Dans les écoles, la ventilation peut être assurée mécaniquement par des ventilateurs et/ou la circulation naturelle de l'air passant par des portes et fenêtres ouvertes.



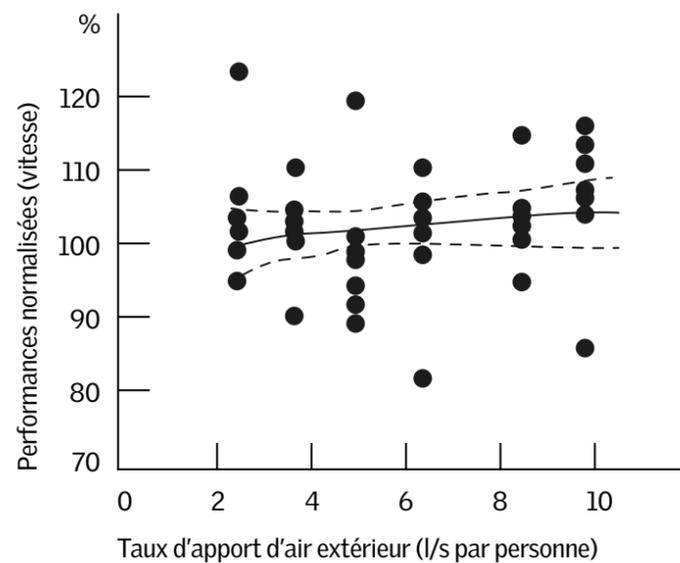
## 2 LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Une mauvaise qualité de l'air intérieur peut non seulement nuire sérieusement à la concentration des élèves et à leurs performances générales, mais aussi entraîner une augmentation de l'absentéisme pour cause de maladie. Une ventilation adéquate est donc impérative pour la conception d'une salle de classe saine favorisant l'épanouissement des élèves.

## Vitesse



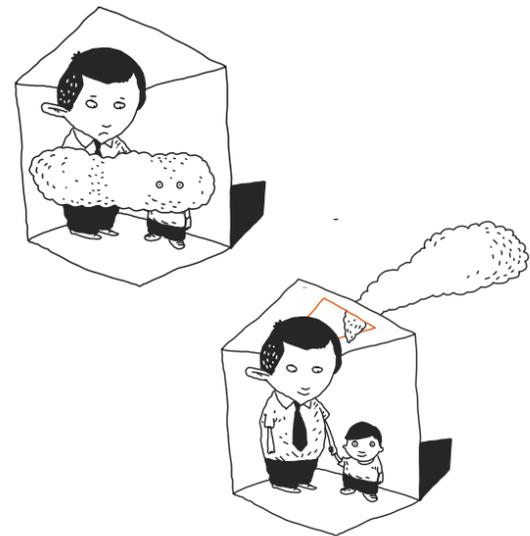
## Exactitude



Résultats des élèves par rapport au taux de ventilation, sur la base d'une étude menée au Danemark. Les résultats étaient fondés sur la vitesse (graphique du dessus) et l'exactitude (graphique du dessous) de réalisation de divers exercices scolaires. Les différents points de données représentent les résultats de plusieurs expériences et de plusieurs types d'exercices.

## 4 façons d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans les classes

1. Ouvrez les fenêtres et aérez pendant les cours. En Europe, la plupart des écoles sont conçues pour une ventilation naturelle.
2. Les solutions de ventilation naturelle innovantes (ventilation naturelle contrôlée, par exemple) peuvent maintenir un niveau de CO<sub>2</sub> dans les limites recommandées.
3. Les systèmes de ventilation mécanique peuvent offrir un niveau optimal de qualité de l'air sans porter préjudice au confort thermique durant les mois plus froids.
4. Les solutions hybrides peuvent combiner les avantages de la ventilation naturelle et mécanique.



- 1 Why Indoor Air Quality is Important to Schools (EPA) [LINK](#)
- 2 Bako-Biro et al: Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools classrooms in the United Arab Emirates, 2012
- 3 Clever Classrooms, Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester (2015)
- 4 CEN (2007) EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings.

Une mauvaise qualité de l'air intérieur n'a pas uniquement un impact sur la capacité des élèves à se concentrer, elle nuit également à leur santé et à leur bien-être en général.

Selon l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA), près d'un enfant sur treize en âge d'aller à l'école aux États-Unis souffre d'asthme, la principale cause d'absentéisme à l'école pour cause de maladie chronique<sup>1</sup>.

On pense également que le corps en plein développement des enfants est plus sensible aux expositions environnementales nocives que celui des adultes. Proportionnellement à leur masse corporelle, les enfants respirent plus d'air, mangent plus de nourriture et boivent plus de liquide que les adultes. Ce seul élément fait de la qualité de l'air dans les écoles un sujet de préoccupation.

Des études relatives à l'exposition humaine aux polluants atmosphériques, également réalisées par l'EPA, indiquent de façon alarmante que les niveaux de polluants à l'intérieur peuvent être deux à cinq fois (et parfois même jusqu'à 100 fois) supérieurs aux niveaux extérieurs.

Une aération inadéquate entraîne une hausse des niveaux de pollution, un problème spécifique aux salles de classe où les enfants ont un volume d'air réduit par individu en raison de la forte densité d'occupation. Quantité d'études avancent des preuves probantes d'un lien entre de meilleurs résultats chez les élèves et une meilleure ventilation de la classe. Les améliorations de performances typiques signalées en corrélation avec une aération

accrue vont de quelques pour cent à 15%<sup>2</sup>.

Dans le cadre d'une récente étude, une intervention visant à améliorer l'aération dans 16 classes a été réalisée. Les résultats de tâches informatisées accomplies par plus de 200 élèves ont montré des réponses sensiblement plus rapides et plus précises à des questions à choix multiples, au test consistant à distinguer le nom d'une couleur de la couleur dans laquelle il est écrit, à la mémorisation d'images et à la reconnaissance de mots dans les classes où l'aération était meilleure.

Selon les conclusions de l'étude Clever Classrooms<sup>3</sup>, les exigences pour une bonne aération des classes sont les suivantes.

### 1 : La ventilation contrôlée

Les fenêtres et verrières dotées de larges ouvertures, idéalement avec plusieurs ouvertures, permettent aux utilisateurs d'aérer efficacement les classes dans diverses conditions. Les fenêtres et verrières à ouverture par le haut situées en hauteur dans la classe, mais avec des mécanismes facilement accessibles et manipulables permettent à l'air le plus chaud et le plus vicié de sortir plus efficacement. Il est préférable de ne pas installer de stores rideaux sur ces fenêtres et verrières à ouverture par le haut s'ils bloquent la circulation de l'air.

### 2 : Le volume de la pièce

Plus la classe est grande, plus les concentrations en dioxyde de carbone et en polluants sont diluées et plus la bonne qualité de l'air

est maintenue longtemps. Dans une classe de taille moyenne d'un volume de 181 mètres cubes, dans laquelle se trouvent 30 élèves et qui est dépourvue d'aération, la qualité de l'air devient mauvaise en à peine 30 minutes.

### 3 : La ventilation mécanique

Quand l'aération naturelle est inadaptée ou problématique, elle peut être améliorée grâce à la mise en place d'une ventilation mécanique.

### 4 : Les capteurs de CO<sub>2</sub>

L'installation de capteurs de CO<sub>2</sub> dans les classes permet aux enseignants de surveiller la qualité de l'air et d'ajuster le niveau d'aération en conséquence. La teneur en CO<sub>2</sub> sert souvent d'indicateur de la qualité de l'air intérieur. L'air extérieur contient une concentration en CO<sub>2</sub> d'environ 400ppm. Un niveau de CO<sub>2</sub> intérieur de 1150ppm offre une qualité de l'air adéquate, 1 400 ppm assurent une bonne qualité de l'air intérieur dans la plupart des cas et 1600ppm indiquent une mauvaise qualité de l'air (NBN, 2007)<sup>4</sup>.

Il ne fait aucun doute que la création d'un bon climat intérieur doit être une des priorités de tous les projets de rénovation d'école et de nouvelles constructions d'école. Cela entraînera la création de meilleures installations dans lesquelles les élèves pourront apprendre et s'épanouir, et les éducateurs travailler efficacement. Une bonne aération est essentielle étant donné que c'est la seule manière de maintenir une bonne qualité de l'air intérieur et les concentrations de polluants à un niveau acceptable.



## CASE 2

### RYPARKEN LILLE SKOLE

D'usine textile à établissement  
d'enseignement.

Ryparken Lille Skole (littéralement «la petite école Ryparken») est située dans une ancienne usine textile du siècle dernier à Copenhague. Pendant des années, l'école et ses occupants ont souffert de l'état de décrépitude du bâtiment. Jusqu'au début des années 2010, quand l'école a décidé de lancer un vaste projet de rénovation. Celui-ci devait inclure le remplacement des anciennes verrières à simple vitrage par 85 verrières modulaires VELUX à triple vitrage fixes et 12 de ventilation.

"Notre superbe école avait besoin d'attention, non seulement pour garantir la longévité du bâtiment, mais aussi veiller à ce que l'établissement soit un lieu agréable pour les enfants et les employés."

Mette Lisbjerg Jensen  
directrice



### Exploiter au maximum les circonstances

L'ancienne usine textile convertie en école montrait des signes prononcés de vieillissement. Le toit fuyait et la consommation d'énergie liée au chauffage du bâtiment crevait, au sens propre, le plafond. La démolition n'a jamais été une option, car elle aurait été trop coûteuse, mais de toute façon, ces bâtiments emblématiques sont classés monuments historiques. L'école a dès lors opté pour un projet de rénovation en vue de moderniser le bâtiment tout en améliorant le climat intérieur grâce à un meilleur apport de lumière naturelle, d'air frais et un meilleur contrôle de la température.

Les architectes n'ont pas tardé à regarder vers le ciel pour réaliser la vision de l'école. En effet, l'emblématique toit à redents, avec son verre sombre orienté au nord, était l'occasion idéale de faire d'une pierre deux coups.

### Des températures et des niveaux de CO<sub>2</sub> confortables tout au long de l'année

Dans un climat saisonnier comme celui du Danemark, il n'est pas évident de garantir une ambiance intérieure confortable. Un nombre insuffisant de fenêtres et autres possibilités d'aérations peut provoquer des pics de températures en été, alors qu'un manque de ventilation génère des niveaux de CO<sub>2</sub> élevés et une mauvaise qualité de l'air intérieur tout au long de l'année. Inversement, s'il y a trop de fenêtres, les usagers du bâtiment risquent d'être frigorifiés pendant les froids mois d'hiver. À moins, bien sûr, que les fenêtres soient correctement isolées. C'est l'un des défis des

architectes travaillant dans des climats marqués par les saisons: comment garantir un bon climat intérieur tout en offrant une quantité adéquate de lumière naturelle tout au long de l'année?

Un élément essentiel est d'avoir des fenêtres et verrières à double vitrage, au minimum, dotées d'une isolation thermique adéquate. Au regard des normes modernes, le simple vitrage des fenêtres existantes dans Ryparken Lille Skole constituait un véritable pont thermique, laissant la chaleur s'échapper par le toit. Toutefois, grâce aux propriétés thermiques très efficaces des verrières modulaires VELUX à triple vitrage, il est désormais possible de laisser pénétrer une abondante lumière naturelle en hiver sans faire chuter les températures et exploser la facture de chauffage.

### De l'air frais par le toit

L'isolation n'est qu'une partie de l'équation. Afin de maintenir de bons niveaux de CO<sub>2</sub> et des températures estivales agréables, il faut aussi bénéficier d'air frais, en particulier dans un bâtiment comme Ryparken Lille Skole où les fenêtres en façade sont relativement peu nombreuses. Afin d'assurer une aération efficace des classes, un des objectifs principaux du projet était de créer de grandes zones ventilées.

Les verrières modulaires VELUX constituent une solution d'aération optimale; le projet comportant 12 modules de ventilation. Elles permettent une bonne ventilation tout en améliorant le confort, la santé, le bien-être et les performances des élèves.

En réalité, sur la totalité des verrières modulaires VELUX, il est possible que l'in-

stallation comporte jusqu'à 50% de modules ventilés. Une fois fermés, tous les modules ont un aspect identique, ce qui ne gêne donc aucunement le design de l'ensemble.

De plus, les modules ventilés peuvent être réglés pour fonctionner automatiquement. Ces modules ventilés automatiques sont particulièrement avantageux dans une école comme Ryparken Lille Skole où les cours et pauses ont lieu à intervalles fixes. Cela signifie qu'un horaire de ventilation peut être mis en place. Les modules ventilés fonctionnent alors de concert avec des capteurs de CO<sub>2</sub>, s'ouvrant automatiquement pendant les pauses si de l'air frais est nécessaire.

Les modules ventilés automatiques garantissent aussi un climat intérieur plus sain, avec moins de CO<sub>2</sub>, moins de particules dans l'air et un meilleur refroidissement naturel endant les journées chaudes d'été.

"Nous sommes extrêmement satisfaits du résultat. L'école est devenue un lieu de travail de bien meilleure qualité, avec un meilleur environnement pour tout le monde", explique Mette Lisbjerg Jensen, directrice de la Ryparken Lille Skole.

### Un air intérieur de mauvaise qualité a un impact sur les résultats des écoliers

Des études montrent qu'une mauvaise qualité de l'air intérieur fait baisser les résultats scolaires des enfants, alors qu'un air de bonne qualité améliore les performances en classe.



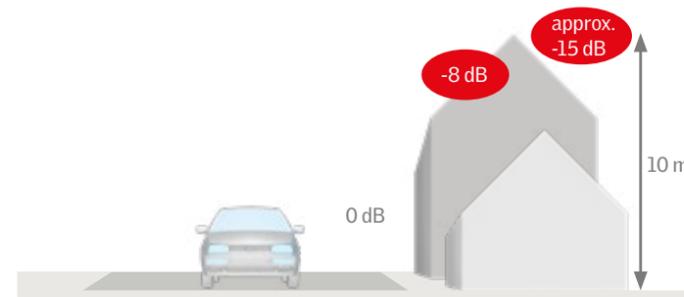
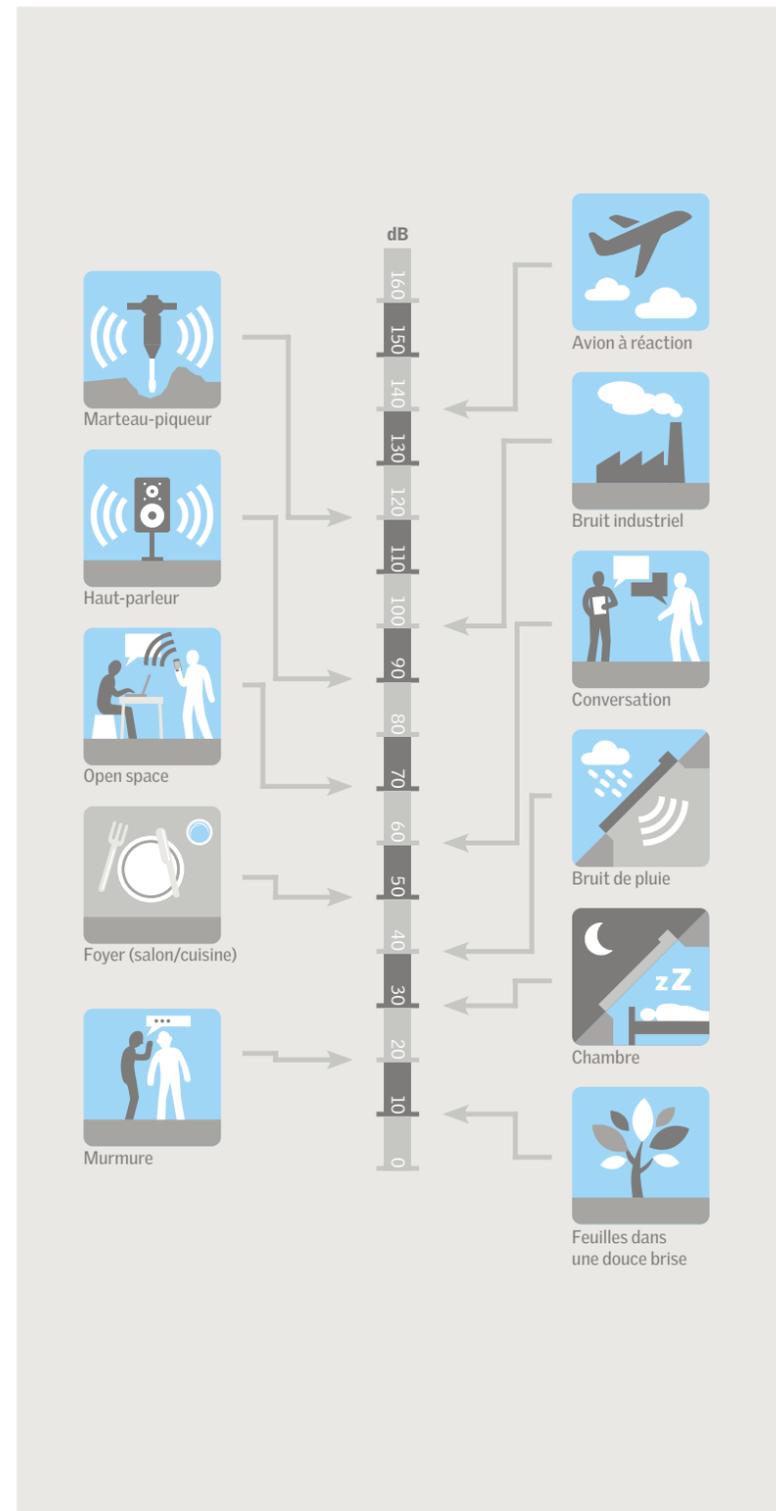


### 3 L'ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE

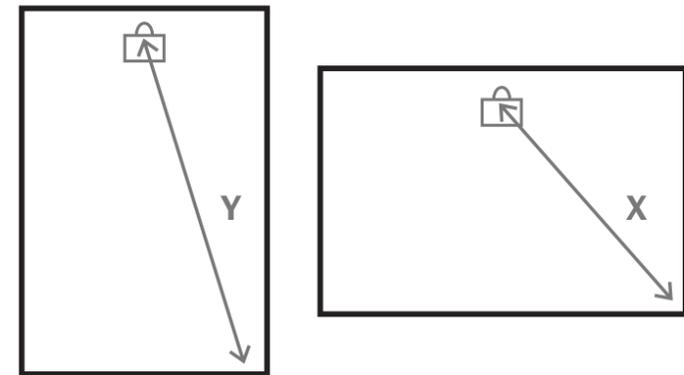
Une importante fonction de l'enveloppe du bâtiment est de protéger l'intérieur des bruits extérieurs indésirables. L'isolation sonore est un paramètre important des composants de construction étant donné que le bruit extérieur peut avoir un impact négatif sur la santé, l'humeur et les capacités d'apprentissage. Notre perception joue un rôle important dans l'identification de ce que nous entendons: un son (positif) ou du bruit. Le bruit indésirable est irritant ou embêtant et, dans les cas les plus graves, néfaste<sup>1</sup>. Une perception auditive confortable et l'absence de bruit de fond intrusif sont essentielles pour rendre possible la communication dans les salles de classe et permettre aux élèves de se concentrer.

<sup>1</sup> <https://www.velux.com/deic/acoustics/noise-or-sound> [LINK](#)

## Niveaux sonores typiques



Comparaison entre une fenêtre en façade et une verrière. Face à la rue, le niveau de bruit d'une verrière sera inférieur de 8 dB par rapport à celui d'une fenêtre en façade. Déplacer la verrière vers l'arrière du bâtiment peut davantage faire baisser le niveau de bruit (environ 15 dB).



Si le bureau d'un enseignant est placé au milieu de la longueur, la distance jusqu'au coin (x) est plus courte que si le bureau est placé au milieu de la largeur (Y).

- 1 Crandell and Smaldino: Classroom Acoustics for Children With Normal Hearing and With Hearing Impairment, 2000
- 2 Picard and Bradley: Revisiting speech interference in classrooms. 2001
- 3 Clever Classrooms, Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester (2015)

Dans la conception de classes, l'objectif doit être d'offrir des conditions optimales pour la production et la réception de bruits désirables (notamment l'enseignant s'adressant aux élèves et vice versa) et le blocage de bruits intrusifs (p. ex. le bruit en provenance de la cour de récréation et celui de la circulation).

Deux études, par Crandell et Smaldino (2000)<sup>1</sup> et Picard et Bradley (2001)<sup>2</sup>, ont résumé les résultats de plusieurs études précédentes et ont conclu que l'environnement acoustique d'une classe est un facteur essentiel dans la réussite scolaire et psychosociale des enfants. Le rapport Clever Classrooms (2015) souligne également que c'est particulièrement vrai des enfants ayant des besoins spécifiques en matière d'éducation.

Parmi les facteurs essentiels qui améliorent l'environnement acoustique des classes, on peut citer:

### Le contrôle du bruit extérieur

Les classes éloignées des zones fréquentées d'une école (la cour de récréation et l'accueil, par exemple) souffriront moins du bruit extérieur. Dans certains cas, l'interférence du bruit extérieur peut être contrôlée en utilisant des couloirs, des toilettes et des locaux d'entretien comme zones tampons.

Idéalement, les écoles devraient être en retrait des routes fréquentées. Cependant, si l'école se situe sur une route fréquentée ou à proximité, le bruit de la circulation peut être limité en installant les classes le plus loin possible de la

route, en les orientant dans la direction opposée à cette dernière et en aménageant des pentes et talus couverts de plantes comme tampons. Le défi devient alors de contrôler le bruit sans trop porter préjudice à la lumière naturelle qui pénètre dans la classe, à la ventilation de celle-ci et à la vue sur l'extérieur. À cet égard, une solution privilégiée est l'utilisation de verrières automatiques qui s'ouvrent pendant les pauses, assurant ainsi une aération et une régulation de la température adéquates sans laisser entrer le bruit de la circulation pendant les cours.

Les fenêtres à double vitrage de deux épaisseurs (p. ex. 4 mm et 6 mm) offriront une meilleure isolation acoustique qu'une fenêtre dotée d'un vitrage standard. Le triple vitrage avec des écarts entre les vitres et une épaisseur de verre différents offre également une meilleure isolation que la solution standard. L'utilisation d'un gaz différent pour combler l'espace entre les feuilles de verre aura également une influence (le krypton offre une meilleure isolation acoustique). Enfin, les laminages sont une autre solution pour obtenir une meilleure isolation acoustique du vitrage.

### Le bruit intérieur

En principe, il est possible de distinguer deux sources de transmission du bruit généré à l'intérieur d'un bâtiment: le bruit aérien et le bruit transmis par le bâtiment lui-même. Le bruit aérien émanant d'activités humaines dans les classes adjacentes ou de bruit mécanique se déplace dans l'air, à travers les murs, les planchers et les plafonds. À l'intérieur de la classe,

il est possible de réduire le bruit indésirable en utilisant un faux plafond avec des carreaux insonorisants, des tables et chaises dotées de pieds en caoutchouc et, si nécessaire, des panneaux acoustiques. Des matériaux poreux peuvent également être employés pour absorber les sons, alors que les rideaux peuvent améliorer l'acoustique en atténuant l'écho et la réverbération.

### La forme de la pièce

La disposition des places assises dans la classe doit permettre à l'enseignant d'être facilement entendu par les élèves: plus ceux-ci sont proches, mieux c'est. Une pièce rectangulaire plus longue que large permet plus facilement ce type de disposition des places.

Cela ne veut toutefois pas dire que la seule forme de la pièce peut remplacer une acoustique de qualité. La flexibilité est un des facteurs très importants pour la conception d'une classe. Nous y reviendrons aux chapitres 5 et 6.

Un bon environnement acoustique dans les salles de classe permet aux enseignants d'être entendus clairement et réduit la distraction causée par le bruit extérieur. Ces conditions permettent aux élèves de travailler efficacement en groupes, tout en autorisant la concentration nécessaire au travail en solitaire ou durant les examens.



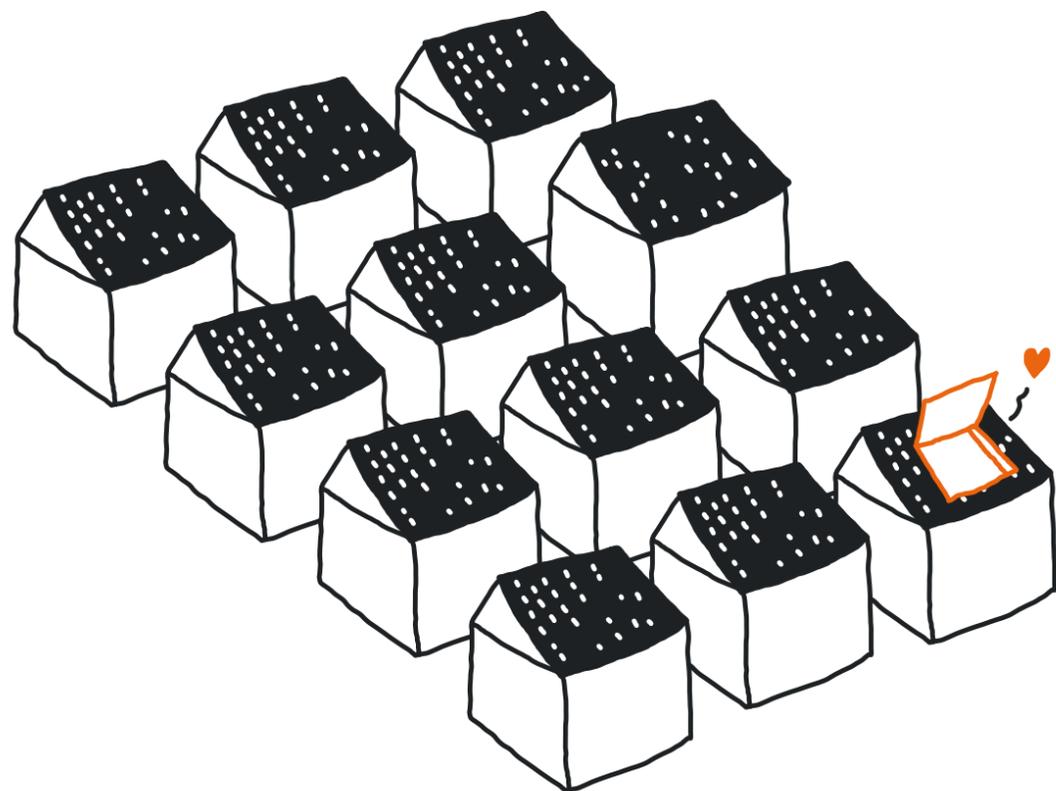
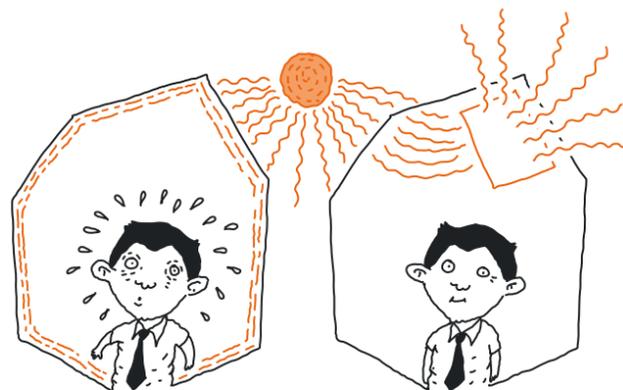
---

## 4 LA TEMPÉRATURE

À l'instar des bols de soupe dans le célèbre conte Boucle d'Or et les trois ours, la température dans les classes ne devrait être ni trop chaude, ni trop froide, mais idéale.

## 4 manières d'améliorer la température intérieure dans les classes

1. Utilisez une occultation solaire et une ventilation naturelle en été pour éviter les températures intérieures élevées qui nuiraient aux capacités d'apprentissage.
2. Installez une ventilation mécanique économe en énergie associée à une utilisation systématique d'une ventilation naturelle, pour mettre en place une stratégie de refroidissement neutre en termes d'énergie.
3. Dans la conception, utilisez des fenêtres de façade et de toit pour permettre une bonne circulation de l'air dans toute la pièce (p. ex. ventilation traversante, effet de cheminée).
4. Intégrez dans la conception de l'école des solutions d'occultation réussies en associant qualité de l'air, température ambiante, vue et lumière naturelle dans une approche itérative.



De bonnes conditions thermiques fondées sur des technologies à haut rendement énergétique telles que la ventilation naturelle, la protection solaire et la conception intelligente du bâtiment (pour les mois les plus chauds), ainsi qu'un chauffage efficace et réglable pour les mois les plus froids) sont des aspects importants à prendre en compte lors de la conception de salles de classe.

Il est de plus en plus communément accepté qu'une température de confort « naturelle » n'existe pas. Les meilleurs résultats en matière de refroidissement et de chauffage peuvent être obtenus en proposant aux occupants des options personnalisées et adaptables comme des fenêtres actionnables personnellement, un contrôle personnel de l'occultation solaire et éventuellement des ventilateurs de bureau et d'autres dispositifs du même ordre. De manière générale, les bâtiments doivent connecter autant que possible les personnes à l'extérieur et les abriter de celui-ci autant que nécessaire<sup>1</sup>.

En Europe, tous les pays disposent dans leur législation ou leurs normes de règles concernant la température intérieure minimale dans les salles de classe. Ces exigences minimums varient d'un pays à l'autre et en fonction de la saison. Elles vont de 17 °C à 20 °C. Moins nombreux sont les pays

1 <https://www.velux.com/article/2016/health-matters> [LINK](#)

européens qui appliquent des normes pour la température atmosphérique intérieure maximum dans les classes. Là où ces limites existent, elles varient de 22 °C à 29 °C.

Depuis plusieurs décennies, des chercheurs étudient la plage de températures optimale correspondant à de meilleurs résultats d'apprentissage. Zeiler et Boxem (2009)<sup>2</sup> ont réalisé une étude approfondie afin de démontrer les effets de la qualité thermique dans les écoles sur les résultats d'apprentissage des élèves. De leur côté, Mendell et Heath (2005)<sup>3</sup>, ont examiné des données concernant l'effet de la qualité environnementale intérieure sur les résultats et la présence aux cours, alors que Fisk (2017)<sup>4</sup> a réalisé un examen détaillé de la littérature traitant des problèmes d'aération dans les écoles, de leur impact sur les résultats, la santé et l'absentéisme des élèves. Ces études ont conclu que, au fur et à mesure que la température et l'humidité augmentent, les élèves signalent un inconfort grandissant alors que leurs niveaux

2 Zeiler & Boxem (2009). Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. Building and Environment. [LINK](#)

3 Mendell and Heath (2005). Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature. Indoor Air

4 Fisk (2017) The ventilation problem in schools: literature review. Indoor Air

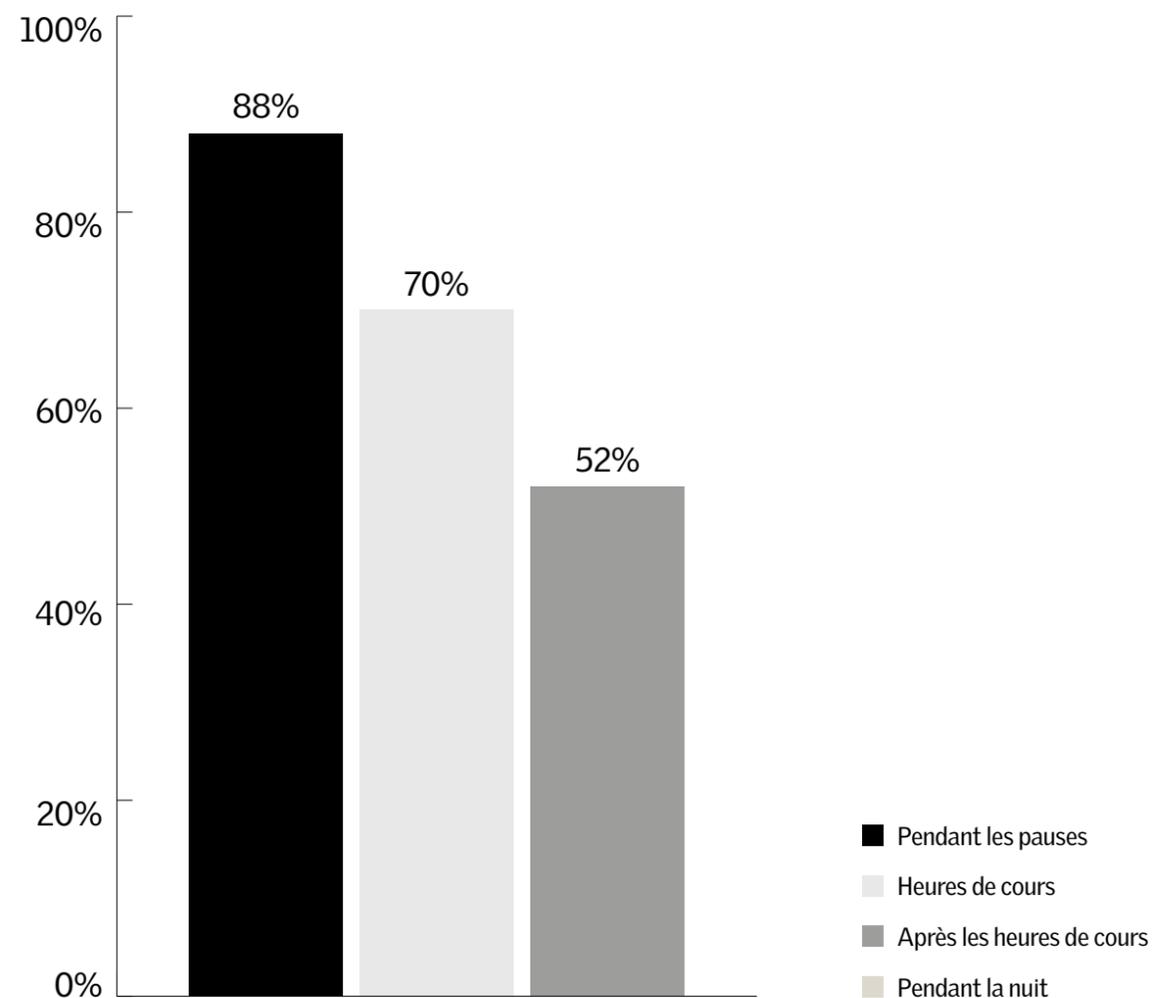
de réussite et d'accomplissement de tâches se détériorent en raison d'une baisse de concentration. Les températures élevées en classe sont également associées à des maux de tête et des problèmes aux yeux, aux oreilles, au nez et à la gorge. Des niveaux élevés d'humidité peuvent conduire à une présence plus importante de moisissures, qui peuvent provoquer ou renforcer toute une série de problèmes de santé.

### Solutions de refroidissement

Le refroidissement naturel par ventilation obtenu en ouvrant fenêtres et verrières est un moyen rapide et direct d'influencer l'environnement thermique intérieur. Une fenêtre ouverte crée une plus grande circulation de l'air et, si la température extérieure est inférieure à celle à l'intérieur du bâtiment, la température intérieure va diminuer. Même quand la température de l'air extérieur est légèrement plus élevée que celle de l'air intérieur, l'augmentation de la vitesse de l'air due à la meilleure circulation de celui-ci accroît le rafraîchissement du corps.

Une ventilation naturelle en vue de refroidir une pièce peut être obtenue de deux manières – l'aération diurne et l'aération nocturne :

- aérer pendant la journée élimine l'excès de chaleur à l'intérieur du bâtiment en renforçant sensiblement la circulation de l'air;
- l'aération de nuit refroidit la



Ce graphique, tiré de l'étude SINPHONIE menée dans 114 écoles de 23 pays européens, indique clairement à quels moments de la journée les fenêtres sont ouvertes. Aucune donnée relative à la ventilation nocturne n'a été présentée.

masse thermique du bâtiment (murs, sols, meubles, etc.) pendant la nuit grâce à l'air frais extérieur. Le lendemain, l'énergie nécessaire au refroidissement du bâtiment est moindre étant donné que la masse thermique a déjà été rafraîchie.

L'orientation de la classe et le contrôle de l'occultation jouent également un rôle important dans la création d'un confort thermique constant. Les grandes fenêtres et verrières peuvent être orientées de manière à laisser entrer un maximum de lumière naturelle pendant les mois d'hiver et, si nécessaire, être occultées à l'aide de systèmes d'occultation amovibles afin de bloquer la lumière du soleil pendant les mois d'été.

Des études sur le terrain montrent

que les personnes se trouvant dans des bâtiments aérés naturellement tolèrent des températures plus élevées. Cette réaction du corps s'adaptant à son environnement est appelée confort thermique adaptatif. Une condition préalable à la conception d'un bâtiment en tenant compte du confort thermique adaptatif est que les personnes puissent adapter librement leur tenue vestimentaire et actionner les fenêtres. La conséquence de cette adaptation est que le confort thermique peut être obtenu dans des climats chauds sans air conditionné, en utilisant l'aération naturelle, l'occultation solaire et une conception intelligente du bâtiment. Dans les pays où les étés sont les plus chauds, des ventilateurs de plafond ou des systèmes

de climatisation mécaniques peuvent s'avérer nécessaires en sus de la ventilation naturelle et de l'occultation.

#### Solutions de chauffage

L'étude *Clever Classrooms* (2015)<sup>5</sup> a révélé qu'un meilleur contrôle de la température était atteint en hiver quand les pièces étaient équipées de radiateurs avec contrôles thermostatiques. En revanche, le chauffage par le sol a été associé à un mauvais contrôle de la chaleur dans les classes individuelles en raison du temps de réponse plus long.

L'étude a également recommandé que toutes les méthodes de contrôle de la température dans les classes soient facilement manipulables et aisément accessibles aux enseignants.



## CASE 3

### HESSENWALD-SCHULE

Un nouveau modèle d'enseignement rendu possible grâce à une architecture moderne.

L'école Hessenwald à Weiterstadt en Allemagne est un exemple d'architecture contemporaine dotée d'un bon rendement énergétique qui offre un nouveau modèle d'enseignement et de pédagogie. Au cœur du modèle et du bâtiment: un atrium de trois étages bien éclairé et bien aéré.



“La meilleure chose à faire pour que les gens se sentent en bonne santé est d'utiliser des matériaux et quantité de lumière pour créer des espaces de qualité.”

Alexander Vohl  
partenaire chez Wulf Architekten

### **Une architecture moderne en milieu rural**

Dans les environs, tout le monde parle de l'école Hessenwald. Les professionnels, la communauté locale, les élèves, les usagers et les enseignants sont tous enthousiasmés par le nouveau complexe scolaire. L'école accueille 700 élèves des villes et villages avoisinants. Malgré la taille du bâtiment, le cabinet d'architectes basé à Stuttgart Wulf Architekten a réussi à l'intégrer dans son environnement (grâce à une conception aux allures de pavillons agglomérés) tout en traduisant le concept de la pédagogie ouverte dans un langage architectural clair et contemporain. Au centre de l'édifice : un atrium lumineux et bien ventilé qui relie l'ensemble du complexe.

L'atrium construit sur trois niveaux relie la salle d'assemblée, la salle de pause, le théâtre et la salle de musique. Six verrières modulaires « linéaires » VELUX fournissent des conditions de luminosité naturelle optimales. La lumière douce et diffuse qui pénètre dans le bâtiment par les verrières linéaires contraste avec le jeu de lumière créé par les protections solaires perforées de la façade, générant ainsi une atmosphère équilibrée.

Ce design architectural ouvert soutient une approche ouverte de l'apprentissage, avec une série d'espaces communs que les élèves peuvent utiliser indépendamment.

**Les verrières comme pièce maîtresse**  
L'école Hessenwald accueille plusieurs

degrés d'enseignement (secondaires inférieur, moyen et supérieur), ce qui permet aux élèves de changer de niveaux en fonction de leurs résultats.

Toute l'école est conçue pour faciliter une approche ouverte de l'apprentissage. Le cœur et point central de cette démarche est l'atrium. La structure cubique de l'atrium est clairement visible de l'extérieur comme un corps indépendant alors qu'à l'intérieur il couvre trois étages et relie différents espaces d'apprentissage.

Les verrières sont placées dans des puits de lumière découpés dans le plafond en métal déployé, les faisant presque ressembler à des luminaires. Cependant, la lumière naturelle et vive qu'elles fournissent en fait un élément unique qui confère à l'atrium son aspect époustouflant.

### **Le caractère durable au cœur du complexe**

Les verrières modulaires « linéaires » VELUX contribuent également au concept énergétique du bâtiment. En hiver, les grandes surfaces vitrées dans le toit fournissent de l'énergie en chauffant l'air à l'intérieur de l'atrium, et par conséquent les différents pavillons, du moins en partie. En été, l'air chaud peut s'échapper par les modules de ventilation des verrières linéaires afin que les températures restent agréables.

L'école a été conçue conformément aux directives pour un bâtiment durable dans l'arrondissement de Darmstadt-Die-

burg. Les cubatures basses et claires de la construction solide et les bonnes propriétés de stockage garantissent de faibles coûts d'entretien grâce à des mesures passives, alors que des matériaux de construction robustes permettent un entretien minimal dans le temps. Le chauffage est produit par un système de biomasse installé dans un autre bâtiment. L'utilisation de la masse thermique dans les plafonds en béton apparent ainsi que le refroidissement automatique de nuit grâce aux panneaux de la façade et les unités de ventilation des verrières modulaires VELUX de l'atrium permettent d'éviter les chaleurs excessives en été. Cela a pour résultat ce que le directeur de l'école, Markus Bürger, décrit comme un "climat intérieur idéal."

"Un climat dans lequel on est à l'aise, façonné par la sublime architecture, les conditions lumineuses et la température agréable. Pour que les enseignants et les élèves travaillent bien ensemble, la base – c'est-à-dire l'espace – doit être bonne. Il n'est pas ici uniquement question de climat intérieur, mais bien de climat d'apprentissage", affirme Markus Bürger.

### **Une pluie de récompenses**

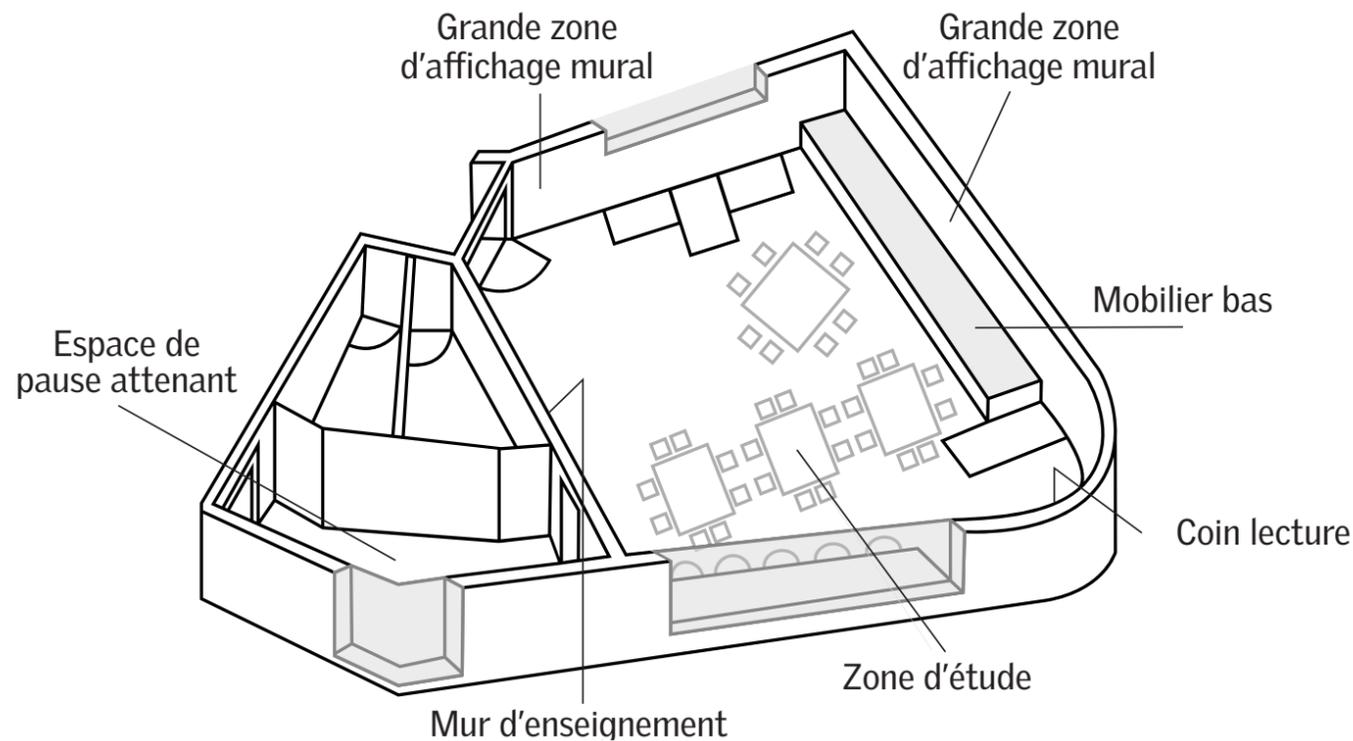
En 2017, l'école a reçu une kyrielle de prix architecturaux. Cela prouve qu'avec l'école Hessenwald, wulf architekten a réussi à relever les défis constitués par les nouvelles approches progressives de l'enseignement et de l'apprentissage combinées à un design architectural moderne.





## 5 LA CONCEPTION DE LA CLASSE

Des classes bien conçues peuvent améliorer les progrès d'apprentissage des élèves d'environ 16 % en à peine un an. L'appropriation et la flexibilité représentent un quart de cet impact sur l'apprentissage. Penchons-nous donc sur ces facteurs importants en matière de conception de classe.



"Ceci est l'illustration d'une salle de classe aux caractéristiques flexibles, inspirée par le « Clever Classroom report »: La salle de classe est divisée en différentes zones : des zones d'apprentissage définies, un espace de pause attendant, une zone dédiée à l'enseignant qui est relativement proche des étudiants assis plus loin dans la salle de classe et une grande zone d'affichage mural."

Quand les enfants éprouvent un sentiment d'appropriation de leur classe, ils se sentent plus responsables, ce qui a plusieurs conséquences positives tant pour les capacités d'apprentissage des enfants que pour la formation de leur identité. Les salles de classe peuvent aussi stimuler l'individualisation en offrant diverses possibilités de modes d'apprentissage différents, ce qui signifie que la flexibilité de la disposition des lieux est également capitale.

### Favoriser le sentiment d'appropriation

Des études physiologiques et psychologiques indiquent que la personnalisation de l'espace est un facteur important dans la formation de l'identité et de l'estime de soi d'un individu. Plusieurs études ont montré que des pièces intimistes et personnalisées permettent de mieux absorber, mémoriser et retenir des informations<sup>1</sup>. Le fait que les enfants éprouvent un sentiment d'appropriation de leur classe semble favoriser le développement du sens des responsabilités<sup>2</sup>.

Les classes qui mettent en évidence les résultats de l'engagement intellectuel des élèves (projets, présentations et modèles, par exemple) s'avèrent égale-

ment favoriser une participation et une implication plus grandes dans le processus d'apprentissage<sup>3</sup>.

Dans l'étude *Clever Classrooms*, une série de facteurs ont été jugés importants dans deux catégories : les aspects qui aident les élèves à s'identifier à « leur » classe et les aspects adaptés aux enfants.

Les recommandations formulées dans les conclusions du rapport incluent :

- Une classe doit avoir une conception distinctive ou des caractéristiques qui la rendent immédiatement familière pour les enfants.
- Cela doit inclure une multitude de possibilités d'affichage du travail des enfants sur les murs et sur des tables d'exposition prévues à cet effet.
- Cela doit comprendre des éléments personnalisés pour les élèves, par exemple, des patères, casiers et/ou tiroirs nominatifs.
- Du mobilier bien conçu doit également être utilisé pour créer un espace d'apprentissage centré sur l'enfant. Les chaises et bureaux doivent être confortables, intéressants et ergonomiques en fonction de l'âge et de la taille des enfants.

### Créer de la flexibilité

Toutes les classes nécessitent, dans une certaine mesure, de la flexibilité

ité pour répondre à différents modes d'apprentissage. Parmi les recommandations de l'étude *Clever Classrooms*, on peut citer :

- Les classes dotées de zones ou de salles d'ateliers clairement définies se sont révélées avoir un impact positif sur l'apprentissage en fournissant un soutien individuel ou en petit groupe dans une atmosphère plus intime. En revanche, les zones d'ateliers séparées de la classe ne s'avèrent pas efficaces.
- Les pièces dotées de plusieurs niveaux de sols offrent plus de potentiel pour créer différentes zones d'activité pour les élèves plus jeunes. Pour les élèves plus âgés, les classes plus carrées et plus grandes sont plus efficaces pour faciliter les possibilités d'apprentissage.
- Des rangements adaptés et accessibles sont importants, même si un trop grand nombre d'armoires peut occuper de l'espace d'apprentissage utile. Une bonne solution est de placer des rangements tels que des armoires et des patères dans des couloirs plus larges tant que cela n'entrave pas la circulation.
- Les grands murs accessibles offrent des possibilités flexibles d'affichage d'informations et des travaux des élèves.
- Les jeunes enfants, qui consacrent beaucoup de temps à un apprentissage par le jeu, tirent profit d'un plus grand nombre de zones d'ap-

1 McMillan: *Research in Education: A Conceptual Introduction*. 1997

2 DeVries and Zan: *Moral Classrooms, Moral Children: Creating a Constructivist Atmosphere in Early Education*. 1994

3 Ulrich: *A place of their own: children and the physical environment*, Human Ecology. 2004



prentissage différentes. Il faut veiller à prévoir des passages dégagés entre les différentes zones. Pour les élèves plus âgés, qui consacrent plus de temps à un apprentissage individuel et formel ou à des travaux de groupe, moins de zones sont nécessaires.

Le fait de prêter une attention adéquate aux besoins d'appropriation et de flexibilité des enfants dans « leur » classe peut être d'autant plus renforcée en connectant l'espace à la nature et à l'extérieur, notamment grâce à des fenêtres avec vue sur jardins, des verrières et des portes s'ouvrant directement sur des aires de jeu. Une option moderne et moins traditionnelle est d'offrir également de la flexibilité dans la disposition des places. Des nouvelles écoles telles que l'école Frederiksbjerg à Aarhus, au Danemark, tentent l'expérience, comme on peut le voir sur l'image. Cette option permet aux enseignants de rompre facilement et efficacement avec le schéma classique des cours fondés sur l'utilisation du tableau/tableau blanc.



## 6 LA STIMULATION EN CLASSE

La stimulation, la couleur et la complexité visuelle sont certes importantes pour créer un environnement d'apprentissage vivant dans les classes, mais quel est l'équilibre sain entre une stimulation insuffisante et une stimulation excessive?



On peut facilement stimuler excessivement des enfants avec des couleurs vives et des affichages surchargés. Cependant, une enceinte d'un blanc immaculé n'est pas non plus une solution. Mais comment trouver le bon équilibre dans la conception d'une salle de classe ?

Des théories suggèrent que la diversité, la nouveauté ou les éléments atypiques introduisent de la complexité visuelle, qui à son tour influence la stimulation. Cependant, les opinions diffèrent : une stimulation plus ou moins importante est-elle bénéfique dans les environnements d'apprentissage des enfants ?

Par exemple, une récente étude citée dans le rapport *Clever Classrooms* révèle que, dans des conditions "où la distraction visuelle est faible", les enfants passaient plus de temps à se concentrer sur leur tâche et obtenaient de meilleurs résultats d'apprentissage que les enfants dans des conditions « où la distraction visuelle est importante<sup>1</sup>. Cette étude a également démontré que les résultats d'apprentissage étaient supérieurs dans des classes épurées en comparaison à des salles de cours abondamment décorées. De leur côté, Read et al (1999)<sup>2</sup> ont montré que des espaces différenciés dotés de hauteurs de plafond et de couleurs de mur variables favorisaient un comportement coopératif, bien que cet effet puisse être contre-productif si la pièce devenait trop complexe.

#### Quel degré de complexité?

Les résultats de l'étude *Clever Classrooms* indiquent que l'effet de la complexité est curviligne, ce qui signifie que des niveaux de complexité trop élevés ou trop faibles

avaient pour résultat de moins bonnes conditions d'apprentissage alors qu'un niveau intermédiaire de complexité visuelle était optimal.

L'étude a conclu que :

- La diversité visuelle de l'aménagement du sol et du plafond est suffisante pour stimuler l'attention des élèves tout en offrant un certain ordre.
- Des plafonds plus hauts et plus simples peuvent «décompresser» l'espace, alors que des formes plus complexes peuvent renforcer la complexité de l'ensemble. Le tout est d'éviter une impression de désordre et de pagaille.
- Les affichages visuels sur les murs doivent être bien conçus et organisés. Il est conseillé de conserver 20-50% de l'espace mural vierge.
- En raison de la perte de luminosité, il faut éviter d'afficher des choses sur les fenêtres.

#### Les couleurs vives sont-elles mieux ?

Il est indéniable que les enfants sont attirés par les couleurs vives. Néanmoins, une approche fonctionnelle de la couleur en classe doit se concentrer sur l'utilisation de la couleur pour obtenir des résultats positifs tels qu'une hausse de la capacité de concentration et des niveaux de fatigue oculaire plus faibles.

Ainsi, Jalil et al (2012)<sup>3</sup> ont examiné la façon dont des couleurs différentes influencent le rendement du travail, induisent certains comportements, créent des perceptions positives ou négatives de l'environnement et des tâches et influencent l'humeur et les émotions. Leur conclusion : les environnements colorés ont des effets

importants sur la capacité d'apprentissage des élèves et leur bien-être.

Ils soutiennent que, bien que les préférences en matière de couleurs soient très subjectives, " le rouge est la couleur préférée des jeunes enfants et des personnes âgées pour un environnement intérieur, alors que c'est le bleu qui est plébiscité par les jeunes adultes, employés de bureau et étudiants masculins".

Dans le cadre de l'étude *Clever Classrooms* (2015)<sup>4</sup>, des éléments de couleur ont été évalués avec des couleurs pâles (blanc/pâle) et des couleurs vives (rouge/orange). La stimulation provenant de l'utilisation de la couleur s'est révélée curviligne, c'est-à-dire qu'elle est idéale à un niveau moyen. D'autres conclusions indiquent :

- Pour les murs, l'aspect principal est curviligne. Les larges zones de couleurs vives obtiennent de mauvais résultats, tout comme les murs blancs avec peu d'éléments de couleur. Un scénario intermédiaire, avec des murs généralement clairs et un mur d'une couleur plus vive, s'est révélé être la solution la plus efficace pour optimiser l'apprentissage.
- Sur cet arrière-plan relativement calme, des éléments de couleur supplémentaires jouaient un rôle complémentaire de stimulant. Ainsi, des couleurs relativement vives sur le sol, les stores, les bureaux et les chaises ajoutent des accents et des touches de couleur.

Dans l'ensemble, la conclusion est que les salles de classe ne devraient jamais être insipides et ennuyeuses et qu'il est nécessaire d'accorder une attention particulière à l'équilibre et au sens de l'ordre pour éviter une stimulation excessive.

1 Godwin and Fisher: Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children: When Too Much of a Good Thing May Be Bad. 2014

2 Read et al: Impact of Space and Color in the Physical Environment on Preschool Children's Cooperative Behavior, Environment and Behavior. 1999

3 Jalil et al: Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review. 2012.

4 *Clever Classrooms* (2015), Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester



**VELUX®**

Commercial