

# Rénovation soutenable des bâtiments scolaires





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## TABLE DES MATIERES

### Participants au projet AIE

#### Préambule

<b>0. Introduction</b>	<b>001</b>
0.1. Rénover les bâtiments scolaires, un défi local et européen	003
0.2. Les bâtiments scolaires, des bâtiments avec des spécificités propres	004
0.3. Rénover des bâtiments scolaires, deux grandes priorités	006
0.4. Rénover durablement les écoles: définition et priorités	007
0.5. Règlements énergétiques et certifications environnementales	015
0.6. Réussir un projet de rénovation d'école	025
<b>1. Le confort et la qualité de vie</b>	<b>031</b>
1.1. La notion de confort	035
1.2. Optimiser le confort des locaux de classe, objectifs à atteindre	041
1.3. Assurer le confort thermique des enfants et des enseignants à l'école	047
1.4. Améliorer le confort visuel dans les locaux de classe	092
1.5. Assurer le confort acoustique dans les locaux de classe	101
1.6. Assurer une bonne qualité de l'air intérieur	113
1.7. L'école, un espace pour apprendre et enseigner	128
1.8. Améliorer la qualité de vie à l'école	138
1.9. Le confort et la qualité de vie - Méthode d'évaluation BREEAM	150
<b>2. Installations techniques et efficacité énergétique</b>	<b>157</b>
2.1. Préambule	161
2.2. Optimiser le système de chauffage existant	161
2.3. Optimiser la production d'eau chaude sanitaire	176
2.4. Production de chauffage par pompe à chaleur	178
2.5. Production d'eau chaude par énergie solaire	187
2.6. Optimiser l'éclairage artificiel du local de classe	188
2.7. Production d'électricité par cogénération	205
2.8. Production d'électricité au moyen de sources renouvelables	207
2.9. La récupération de chaleur sur le système de ventilation	225
2.10. Préchauffage/rafraîchissement de l'air par puits canadien	226
2.11. Techniques et efficacité énergétique - Méthode d'évaluation BREEAM	227

Image: Sylvie Rouche

<b>3. Réduire la consommation de ressources</b>	<b>231</b>
3.1. Réduire la consommation d'eau potable	235
3.2. Alimenter la ressource en eau et réduire le ruissellement	249
3.3. Contrôler la consommation de ressources naturelles	257
3.4. Réduire la consommation de ressources - La méthode BREEAM	278
<b>4. Réduire la production de déchets</b>	<b>283</b>
4.1. Recycler les eaux usées	285
4.2. Réduire, gérer et valoriser les déchets de construction et démolition	301
4.3. Réduire, gérer et valoriser les déchets de fonctionnement	313
4.4. Réduire la production de déchets - La méthode BREEAM	316
<b>Références</b>	<b>319</b>

# Participants

Cette publication a été réalisée dans le cadre du Programme SHC IEA Task 47 « Renovation on Non-Residential Buildings »

L'Operating Agent (coordinateur) est Fritjof Salvesen (Norvège).

Cette tâche a rassemblé environ 25 experts de six pays différents. Les objectifs de cette tâche ont été les suivants:

- développer une solide base de connaissances sur la rénovation de bâtiments non résidentiels tendant vers le standard NZEB de façon la plus durable et la plus rentable ;
- identifier les questions politiques et du secteur les plus importantes ;
- identifier des stratégies de marketing pour ce type de rénovation.

La tâche a été divisée en 4 subtasks:

- **Subtask A: Projets de rénovation exemplaires – Collecte d'informations et analyse**  
Pays responsable : Norvège  
Coordinateur de la subtask: Fritjof Salvesen – Asplan Viak
- **Subtask B: Questions relative au marché de la rénovation et stratégies de marketing**  
Pays responsable : Norvège  
Coordinateur de la subtask: Trond Haavik – Segel
- **Subtask C: Évaluation des solutions techniques et de la gestion opérationnelle**  
Pays responsable: Allemagne  
Coordinateur de la subtask: Doreen Kalz, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
- **Subtask D: Evaluation de l'impact environnemental et sanitaire (bâtiments scolaires)**  
Pays responsable: Belgique

Coordinateur de la subtask: Sophie Trachte; Architecture et Climat -  
UCL

Pour plus d'informations, visitez le site <http://www.iea-shc.org/task47>

Cette publication a été réalisée dans le cadre du travail de la Subtask D :  
« Evaluation de l'impact environnemental et sanitaire des bâtiments  
scolaires ». Les auteurs sont Sophie Trachte et André Deherde de l'équipe de  
recherche «Architecture et Climat», Université de Louvain-la-Neuve, Belgique

*Dates d'émission: Juin 2014 (version anglaise)*

*Janvier 2015 (version française)*

# Avant-propos

Ce guide a été réalisé dans le cadre d'une convention entre le SPW – Wallonie et l'Université catholique de Louvain la Neuve (Architecture et Climat –LOCI) concernant la rénovation soutenable et énergétiquement efficace des bâtiments scolaires wallons. Ce guide est principalement destiné aux architectes et aux étudiants en architecture mais aussi aux directeurs d'école et autres services administratifs gérant les bâtiments scolaires.

A l'heure des grandes interrogations sur les changements climatiques, sur les aspirations d'un développement économique et social durable, sur le maintien des niveaux de vie, l'objectif de ce guide est d'aborder la rénovation de logement de manière globale en développant des principes directeurs non seulement en termes de performances énergétiques mais également en termes de confort, de qualité de vie, d'impact environnemental et de consommation de ressources.

A travers l'Europe et le monde entier, *les écoles maternelles, primaires et secondaires sont des leviers essentiels pour construire la société de demain et transmettre les valeurs démocratiques.* L'école est d'abord un lieu d'ouverture au monde, à l'apprentissage des savoirs et à la socialisation des usagers, trois piliers indispensables pour devenir un citoyen de demain, capable de bonne gouvernance.

Ce rôle est fondamental au sein de nos sociétés. Mais pour jouer ce rôle, les écoles doivent offrir des lieux d'apprentissage et d'enseignement de qualité et confortable. Ce n'est pas toujours le cas en Europe. *La plupart des bâtiments scolaires sont anciens, vétustes et peu isolés. Les systèmes de chauffage sont également anciens et souvent sans régulation. Les systèmes de ventilation, s'il y en a, sont peu efficaces. Les espaces extérieurs et les cours de récréation sont souvent des espaces étriqués sans réelle qualité*

**Cet état d'inconfort a des conséquences négatives et scientifiquement prouvées sur la concentration des élèves et leur processus d'apprentissage.** C'est pourquoi, il est urgent et nécessaire de rénover en profondeur les bâtiments scolaires.

De plus, rénover une école ou des bâtiments scolaires de manière durable et rentable est une réelle opportunité pour sensibiliser les élèves, les enseignants et les parents sur l'efficacité énergétique ainsi que sur la qualité de l'environnement intérieur et extérieur et le confort. **Les bâtiments scolaires, leurs équipements techniques et leur fonctionnement peuvent être utilisés comme une « vitrine » pour les élèves et leurs familles, vitrine qui, une fois vécue, peut influencer leur attitude et les amener à développer un comportement plus responsable et citoyen.**

L'ensemble du guide est richement illustré de schémas explicatifs et des photographies. La grande majorité des photographies ont été réalisées lors de visites effectuées dans les écoles belges, déjà partiellement ou totalement rénovés ou ayant l'objectif d'être rénovée. De nombreux graphiques et tableaux complètent également le texte écrit.

Ce guide offre aux concepteurs l'information et les ressources nécessaires pour rénover les bâtiments scolaires de façon responsable et efficace.

La principale difficulté rencontrée dans la rédaction du guide réside dans la décision des auteurs de proposer un guide applicable à toute l'Europe, depuis les pays scandinaves jusqu'au sud de l'Italie. De manière générale, les auteurs ont pris en compte les caractéristiques des pays d'Europe Centrale tels que l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique mais proposent également les caractéristiques des autres pays (pays scandinaves) lorsque cela s'avère nécessaire.

Il appartient donc aux l'architecte, étudiants ou directeurs d'école de considérer ce guide comme une aide et d'intégrer les principes proposés dans son processus de conception en tenant compte du climat local et des normes en vigueur.

Le guide est divisé en quatre grandes sections/parties, chacune correspondant à une priorité de la rénovation soutenable et énergétiquement efficace des bâtiments scolaires.

La première section "Confort et Qualité de vie", qui est la partie du guide la plus conséquente, traite du confort et de la qualité de vie des enseignants et des élèves dans les établissements scolaires. Cette section passe en revue différents thèmes, notamment:

- Amélioration des performances de l'enveloppe avec l'objectif d'accroître le confort thermique, acoustique et visuel dans les locaux de classe;
- Amélioration de la conception et de l'aménagement des espaces intérieurs avec l'objectif d'accroître la qualité de l'air intérieur ainsi que le confort acoustique et visuel ;
- Amélioration de l'aménagement des espaces extérieurs, spécialement les cours de récréation.

Cette section traite également de l'accessibilité de l'école, la mobilité des élèves et enseignants ainsi que de l'impact des nouvelles technologies d'apprentissage sur la santé.



La deuxième partie "Installations techniques et efficacité énergétique" a pour objet la réduction de la consommation d'énergie fossile lors de l'utilisation des bâtiments scolaires. Elle traite principalement de l'optimisation des systèmes et techniques installés dans les bâtiments scolaires (système de chauffage, système d'éclairage, système de ventilation ...) Cette partie aborde également la mise en place et l'utilisation de systèmes à énergie renouvelable tels que les panneaux photovoltaïques, les pompes à chaleur, etc.

La troisième partie du guide "Réduire la consommation des ressources" traite de la réduction de la consommation d'eau et de l'utilisation rationnelle des ressources et matériaux de construction.

La quatrième partie du guide "Réduire la production de déchets" concerne la réduction des déchets, à savoir les déchets de démolition et de construction, les déchets d'exploitation ou de fonctionnement et le recyclage des eaux usées.

Chaque partie du guide est présentée en différents chapitres. L'architecte peut donc soit utiliser le guide en entier, soit rechercher certaines informations spécifiques, compte tenu de l'avancement et/ou des spécificités de son projet de rénovation.

Il est important de réaliser qu'il n'existe pas d'avance une manière type de rénover durablement des bâtiments scolaires mais au contraire, une multitude de manières qui dépendent de nombreux paramètres : typologie des bâtiments, qualité du/des bâtiments existants, type de rénovation proposée, budget accordé à cette rénovation, qualité du contexte, niveau d'engagement et de participation des acteurs de l'école (enseignants et élèves)... **Mais il est évident que la priorité doit être accordée à l'efficacité énergétique et au confort des élèves et des enseignants.**

Il est également nécessaire de souligner qu'une rénovation énergétiquement poussée et soutenable n'a rien d'inaccessible.

Il s'agit d'atteindre un certain niveau de performance tout à fait réalisable en rénovation qui permettra un meilleur confort – tant intérieur qu'extérieur -, des économies d'énergies et des impacts réduits sur l'environnement.

Si rénover votre école vous semble indispensable, oser la rénover durablement !

Bonne lecture !



## 0. INTRODUCTION

0.1.	Rénover les bâtiments scolaires, un défi local et européen	003
0.2.	Les bâtiments scolaires, des bâtiments avec des spécificités propres	004
0.3.	Rénover des bâtiments scolaires, deux grandes priorités	006
0.4.	Rénover durablement les écoles: définition et priorités	007
0.4.1	<i>Les 5 grands principes de la Déclaration de Rio (1992)</i>	008
0.4.2.	<i>Définition d'une conception durable d'un projet de rénovation</i>	009
0.4.3.	<i>Les priorités de la rénovation durable</i>	010
0.5.	Les réglementations énergétiques et les certifications environnementales	
0.5.1.	<i>Règlementation européenne en matière d'efficacité énergétique</i>	015
0.5.2.	<i>Certifications environnementales</i>	015
0.6.	Réussir un projet de rénovation d'école	025
0.6.1.	<i>Analyse de la situation, objectifs à atteindre, analyse des contraintes</i>	025
0.6.2.	<i>Définition des objectifs, identification des options</i>	026
0.6.3.	<i>Analyse des contraintes et des actions à engager</i>	027
0.6.4.	<i>Planification des travaux</i>	027
0.6.5.	<i>La participation des acteurs de l'école: les enseignants et les élèves</i>	027
0.6.6.	<i>Le point de vue économique</i>	028

Image: Sylvie Rouche





### 0.1. Rénover les écoles, un défi local et européen

A travers l'Europe et le monde entier, *les écoles maternelles, primaires et secondaires sont des leviers essentiels pour construire la société de demain et transmettre les valeurs démocratiques.* L'école est d'abord un lieu d'ouverture au monde, à l'apprentissage des savoirs et à la socialisation des usagers, trois piliers indispensables pour devenir un citoyen de demain, capable de bonne gouvernance.

L'enfant ou l'adolescent, à travers son parcours scolaire, à travers la pédagogie et les matières enseignées, va être formé à une vie relationnelle équilibrée, sensibilisé à l'égalité entre filles et garçons, attentif aux autres : ses condisciples, les adultes de son entourage et y compris les aînés ainsi qu'à la participation active à la vie en commun. Il va recevoir un savoir, acquérir des capacités et des compétences dans différents domaines.

Ce rôle est fondamental au sein de nos sociétés. Mais pour jouer ce rôle, les écoles doivent offrir des lieux d'apprentissage et d'enseignement de qualité et confortable. Ce n'est pas le cas en Europe. La plupart des bâtiments scolaires sont anciens, vétustes et peu isolés. Les systèmes de chauffage sont également anciens et souvent sans régulation. Les systèmes de ventilation, s'il y en a, sont peu efficaces. Les espaces extérieurs et les cours de récréation sont souvent des espaces étriqués sans réelle qualité.

*Cet état d'inconfort a des conséquences négatives et scientifiquement prouvées<sup>1</sup> sur la concentration des élèves et leur processus d'apprentissage.*

En outre, la plupart des bâtiments scolaires ont été construits pour un enseignement ex-cathedra. Mais aujourd'hui, avec le développement de nouvelles méthodes d'enseignement, l'espace pédagogique d'une école ne se résume plus à la classe de cours même si celle-ci reste un lieu privilégié de l'enseignement magistral. Les bâtiments scolaires doivent permettre à la pédagogie d'être partout présente dans l'école : dans la bibliothèque, dans le réfectoire, dans les laboratoires, dans les salles d'étude, dans les locaux de garderie jusque dans la cour de récréation, les couloirs et dégagements qui, généreusement organisés, deviennent des espaces de rencontre, d'échange et des espaces d'apprentissage de la vie. Les bâtiments scolaires, dans leurs aménagements intérieurs et extérieurs de qualité, peuvent favoriser la création d'un climat propice à l'apprentissage et à la réussite et jouer ainsi un rôle dans le développement de l'individu. *Les bâtiments scolaires doivent donc être la matérialisation d'un projet éducatif qui tiendra compte de besoins diversifiés en fonction de l'âge des élèves. Les bâtiments scolaires doivent s'adapter aux programmes pédagogiques d'aujourd'hui mais également à ceux de demain.*

Pour ces différentes raisons, qu'elles soient d'ordre idéologique, pédagogique ou énergétique, les bâtiments scolaires ont urgemment besoin d'une réhabilitation en profondeur.

Rénover une école ou des bâtiments scolaires de manière durable et rentable est une réelle opportunité pour sensibiliser les élèves, les enseignants et les parents sur l'efficacité énergétique ainsi que sur la qualité de l'environnement intérieur et extérieur et le confort. Les bâtiments scolaires, leurs équipements techniques et leur fonctionnement peuvent être utilisés comme une « vitrine » pour les élèves et leurs familles, vitrine qui, une fois vécue, peut influencer leur attitude et les amener à développer un comportement plus responsable et citoyen.

Cette rénovation, si elle se veut soutenable, doit se faire :

- en fonction des contextes dans lesquels le bâtiment s'intègre ;
- suivant une réflexion systémique qui permettra d'aboutir à une solution optimale capable de satisfaire les différents aspects du confort des occupants tout en répondant aux contraintes techniques, économiques, politiques et sociales. Ces différents aspects doivent être étudiés chacun en profondeur mais également ensemble dans la richesse et la complexité de leurs interactions ;
- en intégrant dans le processus de conception et de rénovation, les occupants (direction, enseignants et élèves) leurs besoins spécifiques et leur participation active.

L'objectif de ce guide est de conscientiser d'une part tout concepteur aux différents aspects devant être traités lors de la rénovation ou la réhabilitation de bâtiments scolaires mais également de le soutenir dans ses démarches afin de permettre à chaque enseignant et à chaque élève de vivre et d'occuper des bâtiments caractérisés par une grande efficacité énergétique et par des espaces intérieurs et extérieurs de qualité offrant d'excellentes conditions d'enseignement et d'apprentissage.

1 Wargocki, P. and Wyon, D.P. (2006): "Effects of HVAC on Student Performance", *ASHRAE Journal*, October, 22-28; Bakó-Biró, N., Clements-Croome, Z. Kochhar, D.J., Awbi, H.B. and Williams, M. (2012): "Ventilation rates in schools and pupils' performance", *Building and Environment* 48, 215-223

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



### 0.2. Les bâtiments scolaires, des bâtiments avec des spécificités propres

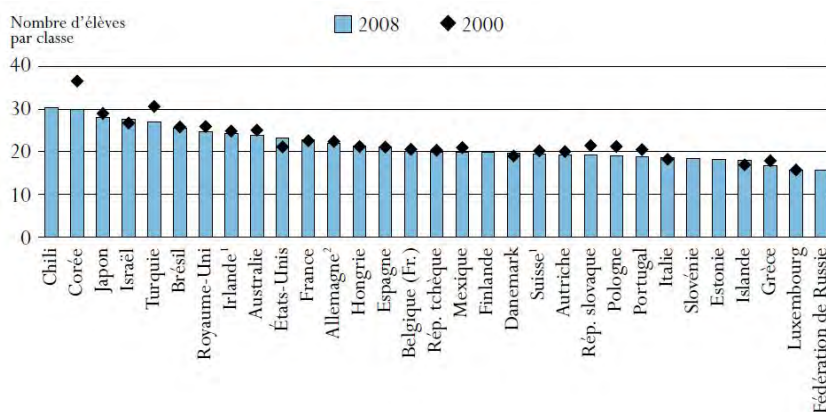
Les bâtiments scolaires ont des spécificités très différentes par rapport à des immeubles administratifs ou des immeubles de bureaux. Si certaines spécificités peuvent varier d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre, d'une commune à l'autre ou encore d'une école à l'autre, d'autres sont communes à toutes les écoles mais toutes auront une influence sur les stratégies de rénovation à adopter.

#### → Taux d'occupation relativement faible

Les bâtiments scolaires ont un taux d'occupation relativement faible et fort différent par rapport à d'autres bâtiments publics. Ils sont, la plupart du temps, occupés 4 à 5 jours par semaine, du lundi au vendredi, de 8h00 du matin à 15/16h00 de l'après-midi. Certains locaux, comme la bibliothèque, le réfectoire, les salles d'étude, les salles de garderie ont des taux d'occupation encore plus faible, de l'ordre de quelques heures par jour.

Les bâtiments scolaires sont utilisés environ 30 semaines ou 200 jours par an avec des périodes relativement longues de non-occupation.

De manière générale, peu d'activités ont lieu le weekend et en soirée si ce n'est une occupation partielle des salles de sports, des salles de gymnastique ou de certains espaces culturels.



Source: OECD Report «Education at a Glance 2010» – Taille moyenne du local de classe



Images: Sylvie Rouche

#### → Nombre d'occupants relativement important

La population d'une école est relativement importante : de quelques centaines d'élèves à plusieurs milliers.

Si un espace de bureau, suivant les normes européennes, doit avoir une surface moyenne par occupant de 12 à 15m<sup>2</sup>, chaque élève évolue dans une surface moyenne de 3 m<sup>2</sup>. En effet, une classe de cours a une surface moyenne allant de 50 m<sup>2</sup> à 80m<sup>2</sup>. Le nombre d'élèves par classe varie entre 20 et 30. Suivant le rapport de l'OCDE « Regards sur l'éducation 2010 », le nombre moyen d'élèves par classe dans l'enseignement primaire est de 22 et dans l'enseignement secondaire de 24 mais il peut exister de fortes variations entre pays (voir graphe). Ce qui équivaut à une surface moyenne par occupants variant de 2.27 m<sup>2</sup> à 3.63m<sup>2</sup> sans tenir compte de la surface occupée par le mobilier.

Face aux nouvelles orientations pédagogiques, plus diversifiées, plus actives et qui engendrent une mobilité plus importante des enfants dans la classe, on peut clairement se poser la question de l'adéquation de la taille des classes par rapport à la pédagogie envisagée et de l'augmentation des surfaces pour atteindre le seuil de confort.

#### → Variété d'occupants et de besoins différents

En Belgique, les écoles maternelles ou les jardins d'enfants accueillent des enfants dont l'âge varie entre 2,5 ans et 6 ans. Les écoles primaires accueillent des enfants dont l'âge varie entre 6 et 12 ans et les écoles secondaires accueillent des enfants de 12 à 18/19 ans.

En Norvège, l'école est obligatoire à partir de 6 ans. Les écoles primaires accueillent des enfants dont l'âge varie entre 6 et 12 ans, le collège accueillent des enfants entre 13 et 15 ans et le lycée accueillent des enfants entre 16 et 18 ans.

En Allemagne, les enfants de 3 à 6 ans sont accueillis au jardin d'enfants. L'école primaire accueille ensuite des enfants entre 6/7 et 10 ans et l'école secondaire accueille des enfants de 11 à 19 ans.

Les besoins physiques (pour bouger, créer, inventer...), affectifs et éducatifs vont varier selon la tranche d'âge de l'élève.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Les bâtiments scolaires (espaces intérieurs et extérieurs) doivent donc reconnaître et s'adapter à ces besoins spécifiques et assurer le cadre matériel dans les lignes, les volumes, les matériaux, les couleurs qui viennent à la fois confirmer et soutenir le travail de l'enseignant <sup>2</sup>.

### → Variété de locaux sous un même toit, surface importante à traiter

L'école regroupe un certain nombre de fonctions et de locaux différents : classes, locaux administratifs, local de garderie, classes d'étude, hall sportif, salle de gymnastique, réfectoire, sanitaires, bibliothèque, laboratoires... Ces locaux doivent répondre à des besoins spécifiques, à des exigences de confort différenciés selon l'usage et l'activité et à certains moments de la journée :

- le local « garderie » est principalement utilisé le matin avant le début des cours et en fin d'après-midi, une fois les cours terminés ;
- le local « sieste » pour les enfants de maternelle, est utilisé en début d'après-midi
- les salles d'études sont principalement utilisées en fin de journée
- le réfectoire est utilisé sur le temps de midi
- la classe de cours est utilisée sur des périodes de temps relativement longues
- le gymnase ou la salle de sports est utilisée toute la journée, y compris sur le temps de midi et parfois en fin d'après-midi, le soir ou le weekend.

L'implantation de ces différents espaces engendre de grandes surfaces et d'importants volumes à traiter et à exploiter.



Image: Catherine Massart



Image: Catherine Massart



Image: © Ecole St Joseph Uccle

### → Importance des espaces extérieurs

Les espaces extérieurs en relation avec l'environnement immédiat de l'école ainsi que les cours de récréation ou les espaces verts sont des espaces très importants dans la vie d'une école. Ce sont des espaces de rencontres et d'échanges mais également des espaces qui répondent à un besoin de détente, de ressourcement ou d'exploration. Ces espaces mettent les enfants en contact avec les autres enfants et avec la nature. Ces lieux doivent donc être traités avec attention car ils doivent offrir une multiplicité d'ambiances et d'aménagements (repos et rencontre, détente et jeux) pour accompagner le développement psychomoteur et la socialisation des enfants.

### → Diversité de bâtiments, de modes constructifs et de matériaux utilisés

Il n'existe pas un modèle prédéfini d'école. Certaines écoles ont une très grande surface au sol et possèdent des bâtiments très étalés avec 1 ou 2 niveaux. D'autres écoles fonctionnent avec une superposition d'étages. D'autres encore fonctionnent avec un mélange de bâtiments anciens et des bâtiments préfabriqués dits « containers ».

Selon la période de construction, les modes constructifs et les matériaux utilisés sont différents :

- bâtiments avec façades et structure massives. Les façades, principalement en maçonnerie, sont ponctuées de baies, relativement importantes ;
- bâtiment avec une structure portante (béton ou acier) et un remplissage par des éléments de façades non porteurs
- bâtiment avec une structure portante et une façade non portante qui cache l'entièreté de la structure ;
- ensemble de bâtiments préfabriqués ou containers

Certains bâtiments scolaires sont sur liste de classement, partiellement ou totalement classés (protégés)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Horizontal - Low	Horizontal - High	Centered	Vertical	Mixed
Less than 4 floors Longitudinal extension 1 main vertical access axis Classrooms arranged either on one or both sides of the corridor	More than 4 floors Longitudinal extension More than 1 main vertical access axis Classrooms are arranged either on one or both sides of the corridor	Up to 3-4 floors 2 or more axis horizontally No clear preferential extension Atriums surrounded by the building structures	More than 4 floors Vertical extension-vertical access axes ("core") Classrooms are arranged around this "core"	Composition of elements from previous categories Possibly one dominating category In any case separated treatment necessary
	Contrary to horizontal lower buildings it needs differentiated attention due to fire precaution, escape routes and used materials.		In any case the vertical building category needs differentiated attention due to fire precaution, escape routes and used materials.	



Source: Schoolventcool Report

### → Ancienneté et vétusté du parc européen

Le parc des écoles en Europe est relativement ancien, souvent vétuste et énergétiquement peu performant.

La proposition de directive de la Commission Européenne (juin 2011) sur l'Efficacité Energétique prévoit par l'article 4, qu'à partir du 1er janvier 2014, 3% des bâtiments publics ou appartenant à des organismes publics devraient être rénovés chaque année, dans le but d'économiser l'énergie. Actuellement, le même pourcentage est rénové par an, mais dans seulement la moitié des cas, l'amélioration de l'efficacité énergétique sont inclus (1,5% de taux de rénovation liés à l'énergie).

Dans cette même proposition, le mémorandum sur ces écoles et jardins d'enfants mentionne explicitement que ce type d'infrastructure doit être rénovés en isolant fortement l'enveloppe et la toiture, en plaçant du double vitrage et en remplaçant les systèmes de chauffage inefficaces ou obsolètes. Mais reste un problème majeur à régler : la ventilation et la qualité de l'air des locaux scolaires.

### 0.3. Rénovation de bâtiments scolaires, deux grandes priorités

#### → Le confort, vecteur d'apprentissage et de performance chez l'enfant

«Le bâtiment est construit avant tout pour être confortable et sain. C'est en fait sa raison d'être. Le bâtiment doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, assurer un climat et une qualité de l'air agréables à l'intérieur...»<sup>3</sup>

Il est scientifiquement prouvé qu'un environnement confortable c.-à-d. un environnement qui inclut une lumière naturelle favorable, une acoustique adéquate, une température confortable, un air intérieur de qualité et des espaces extérieurs bien conçus et attractifs peut aider les élèves à mieux apprendre, à mieux assimiler les différentes matières et à être plus performants dans ses apprentissages. Dans de nombreux cas, l'amélioration de ces caractéristiques induit également une réduction de la consommation d'énergie.

Cette problématique doit donc être un des principaux objectifs pour tout projet de rénovation de bâtiments scolaires, tant d'un point de vue social qu'environnemental ou économique.



Image: Catherine Massart

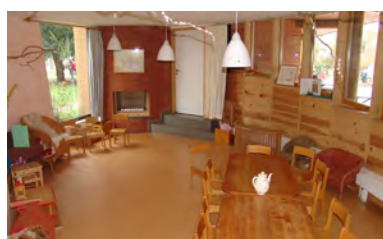


Image: Catherine Massart



Image: Sylvie Rouche





Cette problématique doit être étudiée de manière globale :

- Amélioration du confort thermique, acoustique, visuel, olfactif dans les espaces intérieurs et extérieurs de l'école ;
- Prise en compte de l'aspect « santé » à travers la qualité de l'air des locaux, qualité de l'eau, qualité des sanitaires et implantation d'équipement permettant l'apprentissage de l'hygiène ;
- Amélioration de la qualité de vie et de la sécurité
- Amélioration de la fonctionnalité, des qualités d'usage, de l'adaptabilité et de la facilité de maintenance des bâtiments ;
- Interactions avec l'environnement immédiat par le partage de certains espaces ou certaines fonctions, par l'ouverture de l'école pour certaines activités culturelles,...
- Renforcement des comportements responsables et citoyens

### → La consommation énergétique des écoles en Europe

Les écoles et les bâtiments scolaires (universités y compris) représente 17% du stock bâti européen et en moyenne 12% de la consommation moyenne d'énergie du secteur non résidentiel en Europe.<sup>4</sup>

Une grosse part des frais de fonctionnement des écoles en Europe centrale et dans les pays nordiques est utilisée pour le chauffage des locaux et pour l'entretien et la maintenance des bâtiments.

Réduire à la fois les coûts énergétiques et les coûts de maintenance est donc un des principaux objectifs pour tout projet de rénovation de bâtiments scolaires, tant d'un point de vue économique qu'environnemental :

- Optimisation ou réduction des frais de fonctionnement ;
- Amélioration de la valeur patrimoniale ;
- Réduction de la consommation des ressources : énergie, eau, ...
- Atténuation des impacts environnementaux tel que le réchauffement climatique, la pollution de l'air, de l'eau, du sol...

### 0.4. Rénover durablement les écoles: définition et priorités

Concevoir durablement un projet de rénovation implique de prendre en considération d'une part la définition du développement durable et l'ensemble des principes qui la soutiennent et d'autre part les impacts environnementaux et sanitaires du secteur de la construction en Europe.

Le développement durable a été défini en 1987 dans le rapport Brundtland « Our common future » :

*Un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.*<sup>5</sup>

Selon la Conférence européenne sur la rénovation durable de bâtiments (2012), le secteur du bâtiment représente en Europe 25 milliards de m<sup>2</sup> construits. Quarante pourcents de ce stock, érigé avant 1960, nécessite une rénovation en profondeur.

Les impacts environnementaux du secteur de la construction sont conséquents :

- 40 % des ressources naturelles exploitées
- 40 % de la consommation totale d'énergie
- 35 % de la production de déchets
- 40 % des émissions de gaz à effet de serre (GWP)
- 15 % de la consommation en eau

Si rénover des bâtiments scolaires est une démarche, avant tout, basée sur l'amélioration du confort des occupants (enseignants et élèves) et sur la performance énergétique des bâtiments et de leurs équipements dans le but d'assurer

4 Source: Europe's buildings under the microscope - A country-by-country review of the energy performance of buildings - [http://www.bpie.eu/documents/BPIE/LR\\_%20CbC\\_study.pdf](http://www.bpie.eu/documents/BPIE/LR_%20CbC_study.pdf)

5 Source : Brundtland Report «Our common future» 1987 - [http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP16\\_Background%20on%20Sustainable%20Dev.pdf](http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP16_Background%20on%20Sustainable%20Dev.pdf)



efficacité d'apprentissage et efficacité énergétique, *cette démarche pour être considérée également comme «soutenable» doit également être basée sur les trois dimensions du développement durable et s'inscrire dans une vision systémique, définie par la déclaration de Rio (1997) et les 27 principes proposés en application de la définition de développement durable.*

### 0.4.1 Les 5 grands principes de la déclaration de Rio (1992)

En 1987, en réponse à la demande des Nations-Unies de former une commission d'experts internationaux et d'analyser les détériorations de l'environnement humain et des ressources naturelles ainsi que leurs conséquences sur le plan économique et social, le Rapport Brundtland « Our common future » après avoir établi un constat alarmant de l'état à la fois de l'environnement et du développement (social, économique, culturel et politique) au niveau planétaire, de leur interdépendance et de « l'insoutenable » de leur évolution, a proposé une nouvelle orientation à la question de développement en le qualifiant de « soutenable ». Vingt-sept principes définissant cette notion ont été établis.

Ces principes peuvent être résumés en 5 grands concepts:

#### → Le principe d'intégration des dimensions environnementales, sociales, économiques et politiques

Le capital environnemental comprend l'environnement, y compris la diversité biologique et les réserves de ressources naturelles épuisables et renouvelables. Le capital social comprend la santé, les capacités, les connaissances, le savoir-faire, la formation, la culture, l'expérience des populations, les rapports qu'entretiennent les membres d'une société ou d'un groupe. Le capital économique comprend le capital financier mais également le capital physique ou matériel tels que les infrastructures techniques, les machines, les bâtiments,... Le capital politique comprend les coutumes, les lois, les différentes catégories d'organismes institutionnalisés aux différents niveaux de pouvoir.

*Des bâtiments scolaires, rénovés durablement, possèderaient toutes les qualités d'usage attendues d'un bâtiment scolaire (fonctionnalité, confort, performances d'apprentissage, performance énergétique, techniques,...) mais dans des conditions telles que leurs impacts sur l'environnement, l'économie et le social sont minimisés à long terme:*

- à toutes les échelles: depuis la qualité et le confort des espaces intérieurs d'une école jusqu'à l'échelle planétaire en passant par les espaces extérieurs autour des bâtiments scolaires et la relation au quartier;
- à toutes les époques: depuis l'extraction des matières premières nécessaires à la production de matériaux et éléments constructifs nécessaires à la rénovation jusqu'à leur fin de vie en tant que déchet, depuis la conception du projet de rénovation jusqu'à la fin de vie du bâtiment, en passant par la phase de chantier, la phase de vie en œuvre et de maintenance...

#### → Le principe d'équité inter et intragénérationnelle

Ce principe signifie que nous devons considérer l'ensemble et l'équilibre des 4 capitaux définis ci-dessus comme un patrimoine: on a le droit d'en hériter et donc d'en jouir équitablement au sein de notre génération mais on a également l'obligation de le transmettre aux générations futures sans le dilapider, et mieux encore, en l'enrichissant.

Une rénovation durable de bâtiments scolaires est une rénovation qui va prendre en compte les besoins d'habitabilité d'aujourd'hui, tout en ayant la capacité de satisfaire les besoins d'habitabilité futur et cela sans générer de nuisances majeures pour les générations actuelles et futures. En effet, les méthodes pédagogiques évoluent rapidement. Les bâtiments scolaires qui aujourd'hui doivent être le reflet, la matérialisation du projet pédagogique.

#### → Le principe de précaution

*« Les enfants sont notre avenir et l'avenir du développement durable commence par la protection de la santé de nos enfants » Kofi Annan, secrétaire général des Nations Unies, 2003*

Ce principe implique qu'il faut limiter les risques hypothétiques ou potentiels. Il dépasse la notion de prévention qui se contente de limiter les risques avérés. En d'autre terme, il s'agit de penser les conséquences de toutes nos actions; notre responsabilité cesse d'être rétrospective, elle devient prospective. *Une rénovation durable de bâtiments scolaires est une rénovation qui va limiter les risques tant au niveau de la santé des ouvriers impliqués sur le chantier de rénovation que des utilisateurs (enseignants, élèves et personnel administratif) qu'au niveau de l'environnement (local, régional et global), en tenant compte des différentes phases du cycle de vie du ou des bâtiments scolaires : conception du projet de rénovation, phase de chantier, phase d'utilisation, phase de remplacement ou de maintenance...*

Ce principe est une base fondamentale pour la rénovation des écoles dans la mesure où aucun risque ne doit être pris en ce qui concerne la santé, le bien-être, le confort et le développement physique et psychique des enfants qui sont plus sensibles aux agressions des milieux dans lesquels ils évoluent.

#### → Le principe de responsabilité collective

Ce principe affirme notre responsabilité commune vis-à-vis des enjeux du développement durable, tout en mentionnant

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



que si cette responsabilité est commune, elle est toutefois différenciée: les pays occidentaux ont une responsabilité plus grande face à la détérioration des capitaux environnementaux et sociaux et ils ont le capital économique et politique le plus apte à inverser les tendances.

*Une rénovation durable de bâtiments scolaires est une rénovation qui va tenir compte des quatre dimensions citées plus haut, en tenant compte des besoins actuels et à venir, et cela sur les différentes phases du projet (conception, chantier, utilisation et fin de vie).*

*Un concepteur responsable est un concepteur qui va également limiter les impacts de son projet, tant au niveau de l'environnement immédiat (biodiversité, ressources en eau,...) qu'au niveau de l'environnement général (consommation énergétique, implantation, émission de polluants...).*

Cette notion doit également être prise en considération dans l'utilisation, l'entretien et la maintenance des bâtiments scolaires, d'où l'importance de conscientiser, d'informer et d'offrir des outils permettant une gestion soutenable des bâtiments scolaires par les différents acteurs présents dans l'école.

### → Le principe de participation

La participation des citoyens (re)localise les décisions à l'échelle du milieu dont ils deviennent ainsi les acteurs. Elle facilite la prise en compte des particularités locales; elle permet l'appropriation de choix devenus collectifs; elle garantit la pluralité des solutions et des points de vue.

*Une rénovation durable de bâtiments scolaires est une rénovation qui ne peut fonctionner sans la conscientisation et la participation active de ses occupants, professeurs, parents et élèves. Ce principe est une base fondamentale pour la rénovation des écoles.*

### 0.4.2 Définition d'une conception durable d'un projet de rénovation

Concevoir durablement un projet de rénovation implique de s'intéresser aux contextes dans lesquels le ou les bâtiments s'implantent afin d'enrichir ou de protéger par diverses interactions, à la fois le bâtiment et son environnement.

Ce type de conception va faire en sorte que le (ou les bâtiments) à rénover :

#### → S'enrichisse des avantages de tous les milieux dans lequel il s'insère (social, environnemental et économique)

Il s'agit des milieux climatique (orientations, gains solaires, ventilation, ombrage...) géologique (terre, sols, altitudes...), hydrique (ressources, traitement, distribution, conservation...), végétal (arbres, cultures...), institutionnel (modes de vivre ensemble), infrastructurel (réseaux...), technologique (technologies, matériaux...), programmatique (mixité sociale, mixité fonctionnelle...), patrimonial (bâtiments, paysages...).

#### → Se protège des agressions du milieu

Il s'agit de se protéger du froid, du chaud, de la pluie, du bruit, de la pollution, du risque d'inondation mais aussi de l'insécurité, du manque d'eau potable, du mono-générationnel, du monofonctionnel, du manque de transport en commun, des matériaux nuisibles...

#### → Enrichisse d'améliorations durables l'environnement dans lequel il s'insère

Construire un bâtiment qui, s'il devait disparaître, ne ferait rien perdre à l'environnement dans lequel il se trouve, n'est pas un bâtiment durable. Ainsi l'architecture doit s'inscrire dans un triple horizon d'un passé dont elle hérite, d'un présent qu'elle construit et d'un futur qu'elle transmet.

#### → Protège l'environnement immédiat de ses propres nuisances

Il s'agit des pollutions atmosphériques et hydriques liées à la fabrication des matériaux constitutifs, de la production de déchets (domestiques, démolition,...), des nuisances sonores... du trafic supplémentaire, de l'imperméabilisation du sol...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



### 0.4.3 Les priorités de la rénovation durable

L'objectif premier poursuivi par un processus de rénovation durable est de prolonger la durée de vie d'un bâtiment existant, de lui redonner une seconde vie en augmentant d'une part sa fonctionnalité et sa qualité d'usage et d'autre part le confort et la qualité de vie des occupants tout en limitant l'impact du bâtiment et de son utilisation sur l'environnement. La viabilité économique doit également être prise en compte. Cet objectif doit être mis en œuvre en tenant compte du cycle de vie complet du ou des bâtiments (conception, réalisation, utilisation) :



#### → Augmenter le bien-être, le confort et la qualité de vie (dimension sociale)

- augmenter le confort thermique, acoustique et visuel ;
- augmenter la qualité de l'air ;
- augmenter la qualité des espaces extérieurs et des espaces verts, qu'ils soient intérieurs à l'école ou en bordure de l'espace public ;
- augmenter la fonctionnalité et la qualité d'usage du ou des bâtiments, renforcer son adaptabilité et la facilité de maintenance ;
- renforcer les interactions entre l'école et son environnement.

#### → Enrichir les stocks de ressources naturelles (dimension environnementale)

- rationaliser la consommation des énergies fossiles en travaillant sur l'efficacité énergétique des bâtiments et en renforçant l'usage des énergies renouvelables ;
- enrichir durablement la ressource « eau » en réduisant la consommation en eau et permettant l'infiltration des eaux de pluie dans le sol ;
- enrichir les ressources foncières et matières en limitant l'utilisation des sols, en rationalisant l'usage des matériaux et en renforçant la biodiversité.

#### → Réduire la production de déchets (dimension environnementale)

- limiter les émissions et la pollution de l'air, de l'eau ou du sol ;
- limiter la production de déchets de construction en valorisant les déchets de construction et en exploitant les stocks de ressources secondaires issues du recyclage de ces déchets ;
- limiter et gérer la production de déchets domestiques.

#### 0.4.3.1. Augmenter le bien-être, le confort et la qualité de vie

La rénovation de bâtiments scolaires est souvent rendue nécessaire par un état de vétusté ou d'insalubrité qui engendre un manque de confort en général. La rénovation est ainsi l'occasion d'augmenter à la fois l'habitabilité du bâtiment, le confort de ses espaces intérieurs et/ou extérieurs mais aussi l'efficacité énergétique.

Augmenter le confort des espaces intérieurs signifie améliorer à la fois le confort thermique (été comme hiver), le confort acoustique, le confort respiratoire et le confort visuel de l'occupant.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Le confort respiratoire et la qualité de l'air intérieur est une préoccupation majeure en termes de santé, de qualité de vie mais également d'efficacité d'apprentissage et de performance. La grande majorité des occupants d'une école sont des enfants (en moyenne 22 à 24 élèves par classe au niveau européen). Ceux-ci ne peuvent pas être considérés comme de « petits adultes » dans la mesure où leur métabolisme n'est pas encore mature. Les enfants sont plus sensibles aux agressions des milieux dans lesquels ils évoluent. Ces milieux influencent considérablement leur développement psychique et physique.

Augmenter le confort des espaces extérieurs signifie améliorer la qualité d'usage des cours de récréation et des espaces verts dans et autour de l'école en aménageant ceux-ci de manière diversifiée (différents types d'espaces pour différentes activités), en y implantant de la végétation, en enrichissant la biodiversité et en tenant compte de l'âge des enfants et de leurs besoins spécifiques.

Le ou les bâtiments scolaires, durant la phase de travaux de rénovation et/ou la phase d'exploitation peuvent être à l'origine de nuisances (source importantes de bruit ou de pollution, accroissement du trafic et de stationnement, perte d'ensoleillement...) mais également d'enrichissements (nouveaux commerces de proximité, nouveaux espaces culturels, sociaux ou sportifs partagés, nouvel espace vert, embellissement des abords...).

La rénovation d'une école va donc modifier sensiblement la vie des occupants mais peut également modifier l'environnement et le cadre de vie quotidien de tous les riverains immédiats.

Pour être durable, le processus de rénovation doit donc être également l'occasion d'améliorer la qualité de vie liée au contexte immédiat (social, environnement bâti ou non, économique). Et chaque maître d'ouvrage ou concepteur, conscient de sa responsabilité sur les modifications durables que sa rénovation imposerait à un environnement existant peut souhaiter aller plus loin que ce que préconisent les règles urbanistiques en vigueur.

Pour un projet de rénovation durable de bâtiments scolaires, il est également important :

- de voir dans quelle mesure certains espaces peuvent s'ouvrir, se partager et/ou dialoguer avec l'environnement urbain ou avec certaines activités urbaines (cours du jour et cours du soir, partage de certains espaces de jeux le weekend...)
- de recréer des parcours sécurisés permettant la « mobilité douce » des enfants et de leurs parents entre le lieu d'habitation et l'école, de manière à diminuer le trafic autour de l'école et les nuisances engendrées par celui-ci

Qualité de vie et confort dans une école riment aussi avec qualité d'apprentissage. Cette qualité d'apprentissage peut être mise en avant d'une part par le travail sur le confort en général (température adaptée aux enfants, ambiance acoustique ajustée, confort visuel...) et d'autre part, par la mise en adéquation du ou des bâtiments avec le projet pédagogique de l'école (le bâtiment devient le reflet de la pédagogie). Cette thématique ne sera pas réellement développée dans le guide car elle doit être réfléchie avec l'équipe pédagogique de chaque école. Mais des pistes de réflexions seront cependant proposées.

### 0.4.3.2. Enrichir les stocks de ressources naturelles

#### → Rationaliser la consommation des énergies fossiles en travaillant sur l'efficacité énergétique des bâtiments et en renforçant l'usage des énergies renouvelables

Dans un monde où la croissance de la démographie et de l'économie tire à la hausse, les besoins énergétiques et où les émissions de gaz à effet de serre induites par ces besoins sans cesse accrus conduisent au changement climatique de la planète, les enjeux énergétiques deviennent cruciaux. La croissance des besoins soulève la question de la sécurité d'approvisionnement et le changement climatique celle de la durabilité du système énergétique.

Historiquement, la demande énergétique mondiale a connu une croissance soutenue sur les 40 dernières années, passant de près de 5000 Mtep<sup>1</sup> en 1970 à 12 000 Mtep en 2010. Elle a été multipliée par plus de 2,4 en 40 ans, ce qui correspond à un rythme de croissance annuelle moyen de l'ordre de 2,24 %. Cette tendance, si elle devait se prolonger sur les 40 prochaines années, conduirait à plus que doubler la demande énergétique mondiale à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 2010.

La demande d'énergie primaire mondiale était satisfaite en 2010 à plus de 80 % par les énergies fossiles. Le pétrole est la première source d'énergie, assurant 33 % des besoins mondiaux, suivi par le charbon (27 %) et le gaz (21 %). Les énergies renouvelables satisfont quant à elles 13 % de la demande, dont 10 % pour l'hydraulique. La part du nucléaire dans la consommation d'énergie primaire s'établit à 6 %.

Au vu des consommations d'énergie actuelles, nos réserves d'énergies primaires traditionnelles seront consommées dans moins d'un siècle. Sans doute reste-t-il des réserves encore inconnues à l'heure actuelle mais les moyens pratiques et financiers à mettre en œuvre pour les trouver et les exploiter seront colossaux.

Cette surconsommation d'énergie fossile a également des conséquences désastreuses sur notre environnement, notamment en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, de particules fines et autres polluants atmosphériques mais également sur la santé des êtres vivants (fatigue, problèmes respiratoires et cardiovasculaires, augmentation des allergies et augmentation de la mortalité), sur la viabilité de la faune et la flore (biodiversité) et sur notre patrimoine bâti ancien.

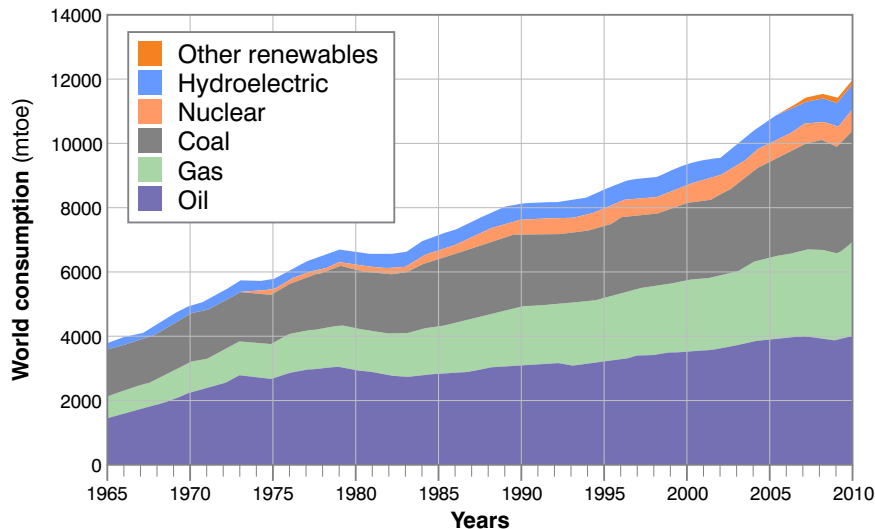
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Il est donc urgent de consommer **MOINS, MIEUX ET AUTREMENT** en appliquant les principes suivants:

- diminuer radicalement notre consommation d'énergie fossile en tenant compte à la fois de l'énergie d'opération à l'usage des bâtiments (efficacité énergétique des bâtiments), de l'énergie grise des matériaux de construction (bilan environnemental) et de l'énergie de transport des occupants (mobilité douce, plan de déplacements) ;
- favoriser l'utilisation des énergies renouvelables dès qu'il y a une possibilité;
- favoriser les transports en commun et la mobilité douce.



Consommation mondiale d'énergie primaire par type d'énergie  
Source: BP Statistical Review of World Energy, 06/2011

→ **Enrichir durablement la ressource « eau » en réduisant la consommation en eau et permettant l'infiltration des eaux de pluie dans le sol**

La préoccupation pour une gestion durable de la ressource « eau » dans le secteur du bâtiment est liée à deux enjeux majeurs. D'une part, l'utilisation massive d'eau potable, la pression exercée par cette surconsommation sur la ressource et la création de pollutions diffuses qui nécessitent des traitements de plus en plus coûteux et d'autre part, l'expansion urbaine et l'imperméabilisation des sols qui conduisent à la saturation des réseaux, à l'augmentation des risques d'inondations et qui empêchent l'approvisionnement des nappes phréatiques.

L'eau douce est un bien indispensable à la survie de tous les écosystèmes présents sur Terre. Ce bien précieux n'est cependant pas inépuisable: alors que 70% de la surface de la Terre est recouverte d'eau, l'eau douce ne représente que 3% de cette quantité dont 0.26% directement disponible pour la consommation humaine. Cette ressource est aussi inégalement répartie sur la surface de la Terre.

Durant les 50 dernières années, la quantité d'eau douce disponible sur Terre a diminué de moitié et de nombreux pays ou régions sont passés en-dessous du seuil de vulnérabilité hydrique (2000m<sup>3</sup>/habitant/an). En effet, nous consommons ce bien précieux sans modération ou presque puisque la consommation quotidienne et par habitant en eau potable varie de 25 litres (pays en voie de développement) à 150 litres (Europe) et 360 litres (USA).

Il est également à noter que la qualité des eaux présentes dans nos sous-sols est de plus en plus médiocre et que les traitements pour rendre ces eaux aptes à la consommation impliquent des procédés de plus en plus importants et coûteux. Paradoxalement à ces trois premiers constats, on estime que seulement 45% de nos besoins journaliers nécessitent réellement une eau potable.

Il devient donc urgent de préserver cette ressource à la qualité fragile en consommant **MOINS, MIEUX ET AUTREMENT**, c'est-à-dire :

- en diminuant notre consommation d'eau potable;
- en ayant recours à une autre source d'eau pour les besoins ne nécessitant pas une eau potable.

Dans le monde entier, l'urbanisation de plus en plus importante des villes, la densification des zones construites et l'augmentation des surfaces imperméables ont pour conséquence la modification voir la destruction de l'EQUILIBRE entre espace construit et espace vert avec des effets importants sur la gestion des eaux de pluie. En effet, l'augmentation des surfaces imperméables (essentiellement en zone fortement urbanisée) provoque une forte augmentation du débit d'eau envoyé vers le réseau d'égout collectif. Ce qui a pour conséquences de saturer rapidement les réseaux existants et de provoquer des risques d'inondations, d'augmenter le volume d'eau à traiter et d'augmenter les coûts liés à l'égouttage et à l'assainissement.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



De plus, la diminution des espaces verts et de surfaces perméables entraîne une forte diminution de l'alimentation des nappes phréatiques. Et l'urbanisation de plus en plus importante et l'industrie et l'agriculture à grande échelle induites par notre mode de consommation entraînent une augmentation de la pollution de nos « réserves » en eau douce.

Les catastrophes terrestres – inondations, rivière et fleuve sortant de leur lit, sécheresse, manque d'eau – *prouvent qu'il devient urgent de RESTAURER cet équilibre indispensable au bon fonctionnement du cycle de l'eau dans les villes et les zones fortement urbanisées.*

*Pour restaurer cet équilibre, chaque concepteur et chaque maître d'ouvrage peut prendre des mesures simples et efficaces pour gérer au mieux l'eau de pluie sur la parcelle du bâtiment à rénover. Il s'agit notamment :*

- *augmenter le coefficient de perméabilité de la parcelle ;*
- *aménager la parcelle avec des dispositifs de rétention et d'infiltration ;*
- *choisir des revêtements de sol extérieur perméable à l'eau ;*
- *épurer les eaux usées, les réutiliser ou les ré-infiltrer dans le sol.*

### → **Enrichir durablement les ressources foncières et matières en limitant l'utilisation des sols et en renforçant la biodiversité**

En termes de territoire et de consommation d'espaces, nous sommes face à deux phénomènes :

**L'urbanisation de plus en plus importante** des villes avec pour conséquences la densification des zones construites, la multiplication voir la congestion du trafic routier, le déclin des relations sociales, le manque d'espaces verts et de biodiversité, l'imperméabilisation des sols...

**L'exode urbain** des habitants des centres villes vers les périphéries et la campagne, prétextant une meilleure qualité de vie et un rapport à la nature, avec pour conséquences un gaspillage de territoire et d'espaces « vierges », un étalement des réseaux, une surconsommation d'énergie et une pollution généralisée.

Ces deux phénomènes opposés ont tous les deux des conséquences dramatiques sur l'environnement, la société et la culture ainsi que sur l'économie locale et mondiale.

La notion de territoire est également liée à l'exploitation des ressources et au paysage. En termes de ressources, le secteur du bâtiment en Europe utilise 50% du total des ressources naturelles exploitées. En 2005, l'ensemble des secteurs a consommé 58 milliards de tonnes de ressources extraites et on prévoit pour 2030 une consommation de 100 milliards de tonnes, soit une augmentation de 75 % en 25 ans.<sup>6</sup> En Europe aujourd'hui chaque habitant consomme quotidiennement en moyenne 45kg de ressources.

Les ressources utilisées sont pour la plupart soit des matières renouvelables (principalement des matières naturelles végétales qui se renouvellent plus ou moins rapidement) et non renouvelables (granulats, matières pierreuses, matières issues de la pétrochimie,... qui ont mis des dizaines de millions d'années pour se former dans notre sous-sol).

L'exploitation de ces ressources peut d'une part avoir des conséquences environnementales dommageables (qualité des paysages, perte de biodiversité, perte d'écosystèmes existants...) et d'autre part avoir des conséquences sociales désastreuses : exploitation d'enfants, ouvriers sans statut social, ouvriers sans couverture sociale, salaires ne permettant pas de vivre dignement...

**Il devient donc urgent de préserver nos espaces vierges, nos écosystèmes, nos ressources et nos paysages en travaillant à la fois sur :**

- *Un concept de ville compacte : en densifiant les villes et le bâti, en densifiant les réseaux de transport en commun; en densifiant les réseaux de transport en commun; en favorisant la mixité sociale et fonctionnelle, de manière à limiter les déplacements et la ségrégation sociale et en travaillant les espaces publics et les espaces verts*
- *Un concept de bâtiment compact, en rénovation comme en construction neuve*
- *Un choix responsable des matériaux de construction :*
  - *Choisir des matériaux produits à partir de matières premières naturelles, de matières premières issues du recyclage ou renouvelables avec un taux de renouvellement élevé, de matières premières présentes en quantité suffisante et/ou illimitée.*
  - *Choisir des matériaux produits à partir de matières premières dont l'extraction ou l'exploitation n'engendrent pas ou peu de nuisances sur le paysage, les écosystèmes et l'environnement en général.*
  - *Choisir des matériaux dont l'exploitation ne s'est pas faite au détriment d'êtres humains*

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



### 0.4.3.3. Réduire la production de déchets

#### → Limiter la production de déchets de construction ou accroître les stocks de ressources secondaires

Alors que la plupart d'entre nous s'accordent sur l'appauvrissement des ressources en matières premières et des ressources énergétiques, le secteur de la construction est, à l'heure actuelle, à la fois un grand consommateur d'énergie et de matières premières mais aussi et surtout un important producteur de déchets (40% de la production totale des déchets).

Du fait de la croissance de la population, de la croissance des villes et surtout de la prépondérance croissante des chantiers de démolitions et de rénovation dans les grandes villes européennes après les constructions effrénées des années 60 et 70, on s'attend à ce que la quantité de déchets de démolition et construction augmente radicalement dans les prochaines années. Mais plus encore, la plupart de ces déchets, malgré un réel potentiel de recyclage, sont, par manque d'infrastructures, d'informations ou de législation adéquate, traités dans les filières traditionnelles, à savoir la mise en décharge ou en centre d'incinération.

Ces filières traditionnelles engendrent des nuisances importantes tant au niveau de l'environnement que de la santé des êtres vivants mais qui sont de plus en plus réglementées, contrôlées et coûteuses et dont implantations seront de plus en plus limitées en Europe.

Face à ces deux constats, il ne reste, en matière de développement durable que trois alternatives:

- produire un minimum de déchets – voir ne pas en produire du tout ;
- trier davantage et à la source les déchets de manière à pouvoir les valoriser dans les filières de recyclage ;
- utiliser davantage de matériaux produits à partir de matières recyclées.

Produire un minimum de déchets implique un travail important de prévention lors de l'élaboration du projet de rénovation – tant au niveau de la conception même du projet qu'au niveau de procédé de construction utilisé et du choix des matériaux.

Trier davantage et à la source implique un travail important au niveau de la « déconstruction du bâtiment » et au niveau de la gestion des déchets.

#### → Les déchets domestiques ou d'opération

La production moyenne de déchets d'une école primaire bruxelloise s'élève à 35 kg par élève et par an. A l'échelle de la Région, cela fait un total de 3 100 tonnes par an. Chaque élève du secondaire produit 11,2 kg de déchets «tout-venant» par an (hors gaspillage alimentaire). Si on compte 85.000 élèves du secondaire dans la Région, la production totale de déchets «tout-venant» (hors gaspillage alimentaire) est estimée à plus de 950 tonnes par an. Source : [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be)

A l'autopsie, les poubelles scolaires se composent essentiellement de gaspillage alimentaire : restes de repas, de collations, de boissons entamées... ou non (5% des berlingots retrouvés dans les poubelles ne sont pas entamés), d'emballages de boisson, et de papiers parmi lesquels près de 30% de publicité.

Certains déchets, moins important en quantité, peuvent également être problématiques et demandent une attention particulière : cartouches d'encre pour imprimante, peintures, colles, déchets et produits de laboratoire...

Quelques gestes simples suffisent pourtant à réduire le volume de déchets scolaires. Et moins de déchets dans une école riment aussi avec moins de frais de fonctionnement.

Malgré le tri en augmentation, une bonne partie de cette montagne est encore incinérée. Avec, pour résultat, des coûts de gestion élevés pour la société et un impact non négligeable sur l'environnement.

Face à ces deux constats, il ne reste, en termes de développement durable que deux alternatives:

- produire un minimum de déchets – voir ne pas en produire du tout ;
- trier davantage et à la source les déchets de manière à pouvoir les valoriser dans les filières de recyclage.

Produire un minimum de déchets implique une prise de conscience de la part de tout citoyen de son mode de vie et de consommation – le concepteur d'un projet de rénovation n'a aucune influence sur ce point.

Trier davantage et à la source implique que le concepteur mette en place lors de la rénovation des dispositifs et moyens encourageant chaque occupant à trier ses déchets.





### 0.5. Règlements énergétique et certifications environnementales

#### 0.5.1 Règlements européenne en matière d'efficacité énergétique

Faisant suite aux engagements de l'Europe face au Protocole de Kyoto, le Parlement et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté, en 2002, la Directive européenne (2002/91/CE) sur la performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments.

Cette directive évalue la Performance Energétique des Bâtiments comme:

« La quantité d'énergie effectivement consommée ou estimée pour répondre aux différents besoins liés à une utilisation standardisée du bâtiment. Celle-ci comprend entre autres le chauffage, l'eau chaude, le système de refroidissement, la ventilation et l'éclairage (pour les bâtiments non résidentiels) et tient compte notamment de l'isolation, des caractéristiques des installations, des paramètres climatiques, de l'exposition solaire, de l'autoproduction <sup>7</sup> d'énergie du climat intérieur, etc. Cette quantité est exprimée par un ou plusieurs indicateurs numériques résultant d'un calcul. »

La directive impose à chacun des Etats-Membres de définir en droit national ou régional :

- une méthode de calcul de la Performance Energétique des Bâtiments ;
- des exigences minimales relatives à la performance énergétique des bâtiments neufs et des bâtiments existants faisant l'objet de travaux de rénovation importants;
- des systèmes de certification de la P.E.B.;
- des exigences concernant l'inspection régulière des chaudières et des systèmes de climatisation.

Conformément à la Directive, un certificat attestant la performance énergétique doit ainsi être délivré à chaque moment-clé de la vie du bâtiment : lors de sa construction, lors de sa vente et lors de sa location.

Le certificat a une durée de validité de 10 ans et doit être affiché dans les bâtiments publics.

#### 0.5.2 Certifications environnementales

La définition du développement durable en 1987 et le Sommet de la Terre à Rio en 1992 ont souligné le rôle fondamental du bâtiment en termes d'empreinte environnementale. L'Union Européenne considère le secteur du bâtiment comme un des secteurs qui a le plus grand potentiel d'amélioration en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre et la consommation de ressources.

Le secteur de la construction s'est donc engagé à limiter ses impacts et ces quinze dernières années ont vu émerger et se développer différentes certifications environnementales. Celles-ci ont pour objectif de clarifier et objectiver les niveaux de performance environnementale atteints par les bâtiments.

Ces différents systèmes de certification se basent sur des référentiels composés de plusieurs thématiques qui permettent d'évaluer un projet (bâtiment, groupe de bâtiment ou quartier).

Les principales certifications environnementales (Europe et hors Europe) sont décrites succinctement ci-après. Il s'agit de :

- Certification BREEAM (EN)
- Certification LEED (US)
- Certification DGNB (GER)
- Certification TOTAL QUALITY BUILDING (AT)
- Certification GREENSTAR (AUS)
- Certification VALIDEO (BE)

En ce qui concerne les critères retenus par la présente publication, nous nous sommes basés sur la certification BREEAM.

<sup>7</sup> L'autoproduction désigne ici la production d'énergie par des systèmes tels que les panneaux solaires thermiques, photovoltaïques, la cogénération, ...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) - <http://www.breeam.org>

# breeam

**Origine:** Royaume-Uni  
**Date de création :** 1990  
**Organisme responsable :** BRE GLOBAL (Building Research Establishment)

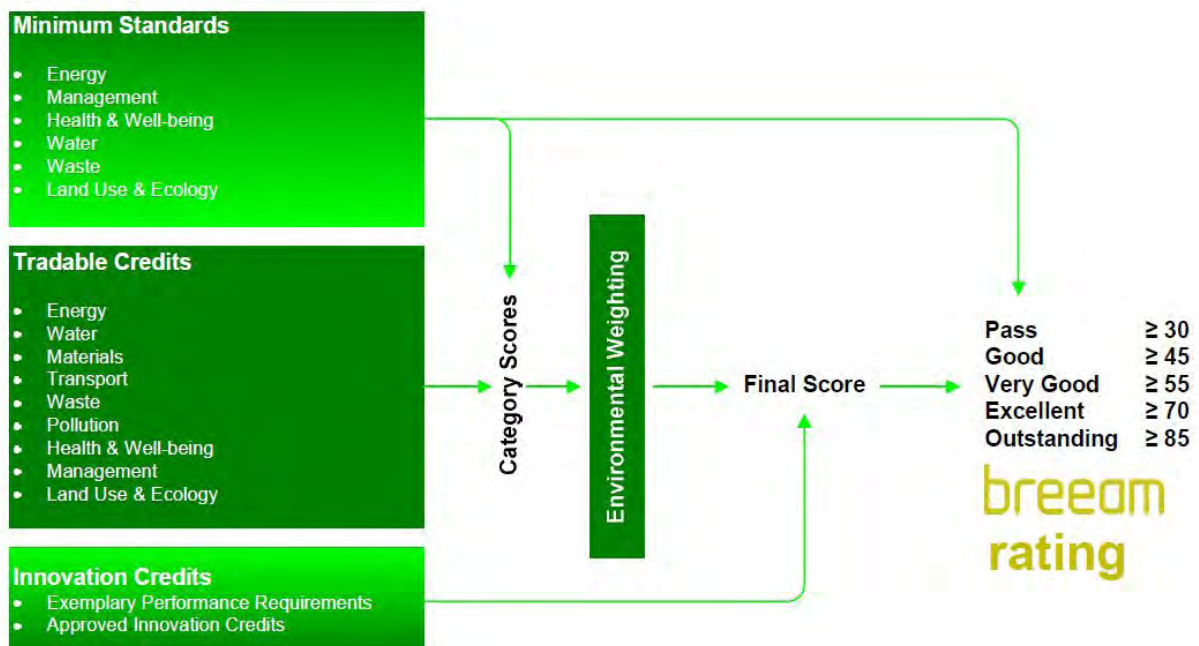
La certification Breeam est la plus ancienne certification environnementale de bâtiments et la plus répandue dans le monde. La certification est obtenue sur base d'un audit réalisé par un auditeur agréé. L'évaluation est fondée sur des cotations attribuées selon un ensemble de critères de performance. Les neufs critères principaux sont : La gestion, santé et confort, énergie, transport, consommation d'eau, matériaux, utilisation du sol, écologie du site et pollution. Le contenu de la méthode est mis à jour tous les ans.

Cette certification évalue :

- les différentes étapes de construction, depuis la conception (certification provisoire) jusqu'à la gestion du bâtiment après construction (certificat définitif).
- 9 types de bâtiments (référentiels différents et spécifiques pour chaque type) : bureaux, maisons, industries, prisons, commerces, logements collectifs, établissements scolaires, tribunaux et établissements de santé
- Des bâtiments neufs ou en rénovation, des extensions ou des réaménagements intérieurs de bâtiments existants

Les thématiques analysées par la certification Breeam ainsi que le système de points et le coefficient de pondération attribués à chaque thématique sont les suivants :

- Gestion : 10 points / 0.12
- Santé et Bien-être : 14 points / 0.15
- Energie : 21 points / 0.19
- Transport : 10 points / 0.08
- Eau : 6 points / 0.06
- Matériaux : 12 points / 0.125
- Déchets : 7 points / 0.075
- Aménagements du site : 10 points / 0.10



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



- • Pollution: 10 points / 0.12
- Innovations (BONUS): 10 points / 0.10

La certification propose **5 niveaux de notation** :

- Exceptionnel : > 85%
- Excellent : 70%
- Très bon : 55%
- Bon : 45%
- Passable : > 30%

Le système de notation est le suivant :

- Attribution des points pour chaque critère par l'évaluateur
- Conversion des points obtenus par thématique en pourcentage
- Pondération par un coefficient et addition des pourcentages de chaque thématique
- Score final de maximum 100%

Il est important de souligner que certaines exigences sont obligatoires pour obtenir un certain niveau de certification : 14 exigences nécessaires pour le niveau « exceptionnel » dont 2 pour la thématique « santé et bien-être »

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ LEED (Leadership Energy Environment Design) - <http://www.usgbc.org/leed>



**Origine:** Etats-Unis  
**Date de création :** 1998  
**Organisme responsable :** US Green Building Council (structure créée en 1993 et composée d'architectes et d'industriels avec la participation d'agents immobiliers et de propriétaires).

La certification est obtenue sur base d'un audit réalisé par un professionnel accrédité LEED par le Green Building Council. Cette certification évalue :

- Le bâtiment à la conception et/ou après les travaux de construction, juste avant occupation
- Les bâtiments tertiaires (bureaux, bâtiments scolaires, établissements de santé, bibliothèques, musées, églises...) et les bâtiments résidentiels de plus de 4 logements
- Des bâtiments en construction neuve ou ayant subi de grandes transformations/rénovations

Les thématiques analysées par la certification Leed ainsi que le nombre de points<sup>8</sup> pouvant être obtenus par thématique sont les suivants :

• Aménagement écologique du site	21 points
• Gestion efficace de l'eau	11 points
• Energie et Atmosphère	37 points
• Matériaux et ressources	14 points
• Qualité de l'environnement intérieur	17 points
• Invention et processus de conception (BONUS)	6 points
• Priorité régionale (BONUS)	4 points

La certification propose 4 niveaux de notation, selon le nombre de points obtenus :

• Platine :	> 80
• Or :	60 à 79
• Argent :	50 à 59
• Certifié :	40 à 49

Le système de notation est simple : attribution d'un point (ou crédit) par exigence respectée, pas de pondération entre thématique. Le score maximal est de 110 points (100 + bonus de 10 points). Il y a deux types d'exigences : les pré-requis obligatoires et les crédits. Tous les pré-requis doivent être atteints, points minimum à obtenir pour les crédits.

Il est important de souligner que certaines exigences sont obligatoires pour obtenir un certain niveau de certification : 14 exigences nécessaires pour le niveau « exceptionnel » dont 2 pour la thématique « santé et bien-être »

8 Le nombre de points pouvant être obtenus par thématique dépend aussi du type de bâtiment. Exemple : dans le cas des écoles, la thématique « aménagement écologique du site » permet d'obtenir 24 points

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ DGNB (German Sustainable Building Certificate) - <http://www.dgnb.de>



# DGNB

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.  
German Sustainable Building Council

<b>Origine:</b>	<b>Allemagne</b>
<b>Date de création :</b>	<b>2008</b>
<b>Organisme responsable :</b>	<b>DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – structure créée en juin 2007 en coopération avec le ministère du Transport, de Construction et des Affaires urbaines)</b>

La certification est obtenue sur base d'un audit réalisé par un auditeur agréé DGNB.

Cette certification évalue des bâtiments et des quartiers, à la conception (pré-certification) et/ou après les travaux de construction, juste avant occupation (vérification et certification), en construction neuve ou en rénovation. Elle permet d'analyser ou d'évaluer des bâtiments non résidentiels et résidentiels.

Les thématiques de la certification DGNB couvrent tous les aspects essentiels de la construction durable: les aspects environnementaux, économiques, socioculturels et fonctionnels, la technologie, les processus et les sites. Ces thématiques sont évaluées sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment avec un focus important sur le confort et le bien-être de l'occupant. Les quatre premières thématiques ont un poids égal dans l'évaluation :

- Qualité écologique
- Qualité économique
- Qualité socio-culturelle et fonctionnelle
- Qualité technique
- Qualité du processus
- Qualité du site (analyse séparée)

L'ensemble des thématiques reprend environ 60 critères (<http://www.dgnb-system.de/en/system/criteria>).

Des critères spécifiques sont appliqués pour la certification des quartiers urbains comme changement climatique (vent, humidité...) du quartier, la biodiversité et l'interaction, mixité sociale et fonctionnelle...

La certification propose 3 niveaux de notation:

- Or : > 89%
- Argent : > 65%
- Bronze : > 50%

Le système de notation est le suivant :

- attribution de points à chaque critère : 10 points maximum par critère
- multiplication du nombre de points obtenus par un facteur de pondération (entre 0 et 3) selon la pertinence
- les résultats sont exprimés sous forme de pourcentage ou sous forme graphique

La qualité du site est considérée séparément et cet aspect est inclus dans le critère « valeur marchande ». Dans le cas de la certification d'un quartier, la qualité du site est incorporée à tous les critères.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ **TOTAL QUALITY BUILDING (Austrian Sustainable Building Council)** - [https://www.oegnb.net/zertifizierte\\_projekte.htm](https://www.oegnb.net/zertifizierte_projekte.htm)



**Origine :**

**Autriche**

**Date de création :**

**2002**

**Organisme responsable :**

**OGÛT (Association autrichienne pour la construction durable, fondée à l'initiative de l'Institut autrichien pour la construction saine et écologique (IBO) et l'Institut autrichien d'Ecologie (ÖÖI))**

TQ (Total Quality, le modèle précédent) a été développé en 2001 avec des subsides du gouvernement fédéral autrichien, résultant d'une coopération internationale dans le cadre de travail de GBC (Green Building Challenge).

Le système TQB s'est aligné en 2010 sur les tendances internationales et s'est harmonisé avec le système d'évaluation autrichien (IBO ÖKOPASS et klima:aktiv haus). Le système d'évaluation adapté a été lancé par ÖGNB (Austrian Sustainable Building Council), une organisation à but non-lucratif créée afin de contribuer à la mise en oeuvre généralisée du savoir aux constructions durables

La certification est obtenue sur base d'un audit réalisé par un examinateur ÖGNB. Cette certification évalue :

- Le bâtiment à la conception, à la construction et à l'exploitation ;
- Les bâtiments non résidentiels (bureaux, bâtiments scolaires, établissements de santé, bâtiments industriels, commerces...) et les bâtiments résidentiels (maisons individuelles et logements collectifs)
- Des bâtiments en construction neuve ou en rénovation

Les thématiques analysées par la certification TOTAL QUALITY BUILDING ainsi que le nombre de points pouvant être obtenus par thématique sont les suivants :

• Emplacement du site et équipements :	200 points
• Qualités techniques et économiques :	200 points
• Energie et approvisionnement	200 points
• Santé et confort :	200 points
- Confort thermique (50 points)	
- Qualité de l'air (50 points)	
- Confort acoustique (50 points)	
- Lumière naturelle (50 points)	
• Préservation des ressources :	200 points

Le système de notation attribue des points à chaque exigence. Un total de maximum 1000 points peut être obtenu.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ GREENSTAR (Green Building Council of Australia)



**Origine:** *Australie*  
**Date de création :** *2002*  
**Organisme responsable :** *GREEN BUILDING COUNCIL OF AUSTRALIA (structure créée en 2002 avec le soutien des industriels et du gouvernement, membre du World Green Building Council)*

La certification est obtenue sur base d'un audit réalisé par un professionnel accrédité. Cette certification évalue :

- Le bâtiment à la conception et à la construction;
- Les bâtiments non résidentiels (bureaux, bâtiments scolaires, établissements de santé, bâtiments industriels et commerces) et les bâtiments résidentiels (logements collectifs);
- Des bâtiments en construction neuve ou en rénovation.

Les thématiques analysées par la certification GREENSTAR ainsi que le nombre de points pouvant être obtenus et le facteur de pondération pour les bâtiments non résidentiels par thématique sont les suivants :

• Management	12 points / 0.1
• Qualité de l'environnement intérieur	27 points / 0.2
• Energie	29 points / 0.25
• Transport	11 points / 0.1
• Eau	12 points / 0.1
• Matériaux	22 points / 0.1
• Aménagement du site et écologie	8 points / 0.1
• Emissions	19 points / 0.05
• Innovations (BONUS)	5 points

La certification propose 6 niveaux de notation, définis par des étoiles. La certification n'est possible qu'à partir de 4 étoiles.

• 6 étoiles :	> 75 points
• 5 étoiles :	60 – 74 points
• 4 étoiles :	45 – 59 points
• 3 étoiles :	30 – 44 points
• 2 étoiles :	20 – 29 points
• 1 étoile :	10 – 19 points

Le système de notation est le suivant :

- Attribution de points pour chaque critère;
- Calcul du score obtenu en pourcentage pour chaque thématique;
- Chaque pourcentage est pondéré suivant le facteur de pondération;
- Somme des scores pondérés;
- Ajout des points obtenus pour l'innovation (max. 5 points).

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



→ VALIDEO - [www.valideo.org](http://www.valideo.org)



**Origine:** Belgique  
**Date de création :** 2002 (dernier référentiel : 2010)  
**Organisme responsable :** Valideo est issu d'une collaboration entre chercheurs et ingénieurs du BBRI et du SECO, financé par l'IRSIB. Les analyses et la certification ont été menées par un organisme de certification. La procédure de certification est gérée par le BCCA.

La certification est obtenue sur base d'un contrôle (avant construction et après chantier) de la Belgian Construction Certification Association (BCCA). Cette certification évalue :

- Le bâtiment à la conception, à la construction et en fin de chantier lors de la réception du bâtiment;
- Les bâtiments non résidentiels (bureaux, bâtiments scolaires, établissements de santé, commerces...) et les bâtiments résidentiels (logements collectifs);
- Des bâtiments en construction neuve ou en rénovation.

Quatre thématiques sont développées dans 16 rubriques différentes. Les exigences de chaque thématique sont adaptées suivant le type de projet :

- Site et construction :
  - Intégration du projet et valorisation du site
  - Chantier : gestion des nuisances sonores, visuelles, déchets et circulations
  - Matériaux et produits : impact environnemental des matériaux, utilisation rationnelle et santé
  - Adaptabilité : flexibilité dans l'usage, possibilité d'évolution ou de transformation
- Gestion :
  - Energie : limitation des besoins, optimisation des systèmes, recours aux énergies renouvelables
  - Eau : limitation des besoins, gestion des eaux pluviales, traitement des eaux usées
  - Entretien et maintenance : prise en compte d'un programme d'entretien et de maintenance
  - Déchets en exploitation : limitation des quantités, des nuisances, zone de stockage, tri et enlèvement
- Confort et santé :
  - Confort hygrothermique : maîtrise des températures et de l'hygrométrie, homogénéité
  - Confort visuel : éclairage naturel et artificiel
  - Confort acoustique : maîtrise des nuisances vis-à-vis des sources ext. et int. dont les équipements
  - Santé : qualité de l'air, qualité de l'eau, qualité des espaces (rayonnement)
- Valeur sociale :
  - lieu de vie
  - Mobilité
  - Accessibilité
  - Anti-effraction

Chaque thématique obtient un niveau de performance allant de A à E :

- A :	résultat exceptionnel	> 85 %
- B :	très bon résultat	76 à 85 %
- C :	bon résultat	65 à 75 %
- D :	résultat satisfaisant	50 à 64 %
- E :	résultat insuffisant	< 50%



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Le système de notation est le suivant :

- Attribution d'un nombre de points à chaque critère à chaque critère et d'un facteur de pondération;
- Total des points pondérés exprimé en pourcentage, par thématique;
- Expression des résultats sous forme graphique.

### 0.5.2.1. Tableau comparatif et récapitulatif entre les différentes certifications environnementales

	BREEAM (EN)	LEED (US)	DGNB	TQB	GREENSTAR	VALIDEO	ITACA
<b>Stages of project</b>							
Design	X	X	X	X	X	X	
Building	X	X	X	X	X	X	
End of building step	X		X	X		X	
Operation	X		X				
<b>Type of project</b>							
Residential - individual housing	X		X	X			
Residential - collective dwellings	X	X	X	X	X	X	
Non residential	X	X	X	X	X	X	
School building	X	X	X	X	X	X	
<b>Type of works</b>							
New construction	X	X	X	X	X	X	
Renovation / rehabilitation	X	X	X	X	X	X	
Interior	X						
Extension	X		X	X	X	X	
New district			X	X			
<b>Number of themes analyzed</b>	9 + 1 (bonus)	5 + 2 (bonus)	5 + 1	5	8 + 1 (bonus)	4 * 4	
<b>Requirements</b>							
Easy access to public transport	X	X	X	X	X	X	
Alternative transportation - bicycle facilities	X	X	X	X	X	X	
Transportation - parking capacity	X	X	X		X	X	
Secure access routes	X			X		X	
Travel plan	X			X	X		
Accessibility for disabled persons	X	X	X	X		X	
Sharing of equipment	X	X				X	
Building site : local supply	X			X			
Building site: presence of services	X	X	X	X		X	
Building site: presence of social infrastructure		X	X	X			
Building site : presence of relaxation infrastructure			X	X			
Building site: equipment and community connectivity		X	X				
Building site: land use	X		X	X	X	X	
Building site: biodiversity protection	X		X	X	X		
Building site: presence of magnetic fields				X			
Building site: maximization of open spaces		X	X		X	X	
Building site: risks of natural disasters	X		X	X			
Building site: rainwater management	X	X	(X)		X	X	
Building site: reduction of the heat island effect		X					
Plan and comprehensive management of site		X	X		X	X	
Global warming potential	X		X	X	X		
Ozone depletion potential	X		X				
Photochemical ozone creation potential	X		X				
Acidification potential	X		X			X	
Eutrophication potential	X		X				
Other environmental impact	X		X				
Risks for local environment	X		X			X	
Microclimate			X				
Non renewal primary energy demand	X		X		X		
Total primary energy demand	X		X	X	X		
Production of renewable energy (on site)	X	X	(X)				
Green Power (for electricity)	X	X	(X)				
Optimization of energy performance	X	X	X		X		
Air tightness	X		X	X		X	
Elimination of thermal bridges	X		X	X		X	
Energy efficient outdoor lighting	X				X	X	
Heating energy demand	X			X			
Monitoring and control of energy consumption	X	X	?			X	
Use of "zero or low carbon" technology	X		X			X	
Use of energy efficient equipment	X		X		X	X	
Water leak detection system	X				X	X	
Consumption of drinking water	X	X	X		X	X	
Monitoring and control of water consumption	X	X		X	X		
Use of rainwater / recycled water	X		X	X		X	
Efficient sanitary equipment	X	X	X	X	X		
Water quality (hot / cold)	X			X		X	
Recycling system for wastewater	X	X	X		X	X	
Rainwater management	X	X	X		X	X	
Effectiveness of floor surfaces used			X	X	X	X	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Stages of project	Design	Building	End of building step	Operation				
Design	X	X	X	X	X	X	X	
Building	X	X	X	X	X	X	X	
End of building step	X		X	X	X		X	
Operation	X		X	X				
Type of project								
Residential - individual housing	X		X	X	X			
Residential - collective dwellings	X	X	X	X	X	X	X	
Non residential	X	X	X	X	X	X	X	
School building	X	X	X	X	X	X	X	
Type of works								
New construction	X	X	X	X	X	X	X	
Renovation / rehabilitation	X	X	X	X	X	X	X	
Interior	X							
Extension	X		X	X	X	X	X	
New district			X	X				
Number of themes analyzed	9 + 1 (bonus)	5 + 2 (bonus)	5 + 1	5	8 + 1 (bonus)	4 * 4		
Use of local or regional building materials	X	X	X	X	X	X	X	
Use of recycled or reused building materials	X	X	X	X	X	X	X	
Use rapidly renewable materials	X	X	X	X	X	X	X	
Use of certified woods	X	X	X	X	X	X	X	
Use of eco-labeled materials	X		X	X	X	X	X	
No use of "critical" materials			X	X	X	X	X	
Environmental impact of building materials	X		X	X	X	X	X	
Responsible supply of building materials	X			X				
Selection of insulation material	X		X		X			
Designed for robustness	X		X					
Designed for disassembly			X		X	X	X	
Thermal comfort in winter	X	X	X	X	X	X	X	
Thermal comfort in summer	X	X	X	X	X	X	X	
Building regulation	X	X	X	X	X	X	X	
Gestion et contrôle des systèmes - confort therm.	X		X	X	X	X	X	
Users influence	X		X	X	X	X	X	
Indoor air quality	X	X	X	X	X	X	X	
low-emitting materials	X	X	X	X	X	X	X	
Ventilation systems	X	X	X	X	X	X	X	
Prevention and protection against moisture		X	X	X	X	X	X	
Control of indoor pollutants	X	X	X					
Management Plan IAQ - during construction		X						
Management Plan IAQ - before operation		X			X			
Acoustical comfort	X	X	X	X	X	X	X	
Acoustical planning of building	X		?	X	X	X	X	
Protection against noise	X		X	X	X	X	X	
Ambient noise level	X		X	X	X	X	X	
Insulation values - aerial noise - partition walls	X			X	X	X	X	
Insulation values - aerial noise - floors	X			X	X	X	X	
Insulation value - impact noise - floors	X			X	X	X	X	
Visual comfort	X	X	X	X	X	X	X	
Natural light - daylight factor	X		X	X	X	X	X	
Glare protection	X		X	X	X	X	X	
Daylight - nbr of hours of sunshine in winter			?	X			X	
Zoning of artificial lighting	X		?		X			
Quality of view	X	X	?		X	X	X	
Management and control systems - visual comfort	X	X	?		X	X	X	
Life cycle cost assessments	X		X	X	X	X	X	
Integrated planning			X	X	X	X	X	
Responsible building practices	X		X	X	X	X	X	
Operation and maintenance	X		X	X	X	X	X	
Security and risk of failure			X	X	X	X	X	
Logistics and Transportation Management	X			X	X	X	X	
Durability and adaptability of the building			X				X	
Flexibility of equipments								
Transformation possibilities			X		X			
Planning of equipments lifespan								
Dematerialization					X	X	X	
Waste management - building site	X	X	X	X	X	X	X	
Waste management - operation	X			X	X	X	X	
Fire protection			X	X	X	X	X	
Fire protection - building elements			?	X	X	X	X	
Fire protection - detection				X	X	X	X	
Fire protection - extinguishing system				X	X	X	X	
Commissioning	X		X	X	X	X	X	
Guide for right operation	X		X	X	X	X	X	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



Image: Catherine Massart



Image: © reseau-idee.be



Image: Sylvie Rouche

### 0.6. Réussir un projet de rénovation d'école

#### Remarque préalable

Chaque projet de rénovation reste un cas particulier.

Le présent document donne des lignes de conduites à suivre pour arriver aux objectifs fixés en termes de consommation (énergie, eau, matières) et de confort (intérieur et extérieur).

Ces lignes de conduites restent générales et doivent être adaptées à chaque projet en fonction de ses spécificités propres pour atteindre l'optimum fixé par le concepteur ou le maître d'ouvrage.

#### 0.6.1 Analyse de la situation, objectifs à atteindre, analyse des contraintes

Les objectifs à atteindre par le projet de rénovation doivent s'établir sur base de l'analyse du ou des bâtiments scolaires existants, des acteurs de l'école et de leurs besoins ainsi que des contextes d'implantation :

##### → Analyse des problèmes rencontrés au sein du ou des bâtiments:

- problème de sécurité : incendie, amiante ou matériaux problématiques, éléments ne répondant plus aux normes...
- problème de salubrité ou d'hygiène : moisissures, humidité, sanitaires inadéquats...
- problème de vétusté ou d'inconfort : détérioration de certaines installations, d'éléments constructifs ou de bâtiments, obsolescence des systèmes de chauffage, d'éclairage ou de ventilation...
- problème spatial ou fonctionnel : manque de locaux, manque de surface de jeux, besoin de nouvelles infrastructures pédagogiques (en rapport avec la population fréquentant l'école), inadéquation des locaux par rapport au projet pédagogique...
- problème financier : facture énergétique trop importante, coûts d'exploitation et de maintenance en augmentation...

Cette analyse devrait permettre d'identifier le niveau de rénovation souhaité ou envisagé. Ce niveau de rénovation devra être mis en concordance avec l'enveloppe budgétaire et un planning de travaux.

##### → Analyse des qualités du ou des bâtiments scolaires à rénover : qualité du bâtiment dans son environnement immédiat, qualité architecturale (bâtiment partiellement ou totalement classé), qualité de la construction et matériaux, qualité spatiale, qualité fonctionnelle ou d'usage...

Cette analyse devrait permettre de déterminer l'intérêt de conserver et de rénover les bâtiments ou au contraire de les démolir et de reconstruire. Elle permet également d'identifier l'adaptabilité des bâtiments aux besoins pédagogiques actuels et futurs (proche et lointain).

##### → Analyse des besoins, des attentes et des compétences des différents acteurs, essentiellement les enseignants et les élèves :

- besoins fonctionnels : implantation de nouveaux équipements ou de nouvelles fonctions
- besoins spatiaux : création de nouveaux locaux, de nouvelles surfaces de cours ou d'espaces verts...
- compétences en gestion, en ressource humaine, en communication et pourquoi pas en énergie.

Cette analyse est importante car, en s'attachant aux demandes et aux besoins des acteurs de l'école, en écoutant des approches différentes et en prenant en compte les perspectives d'avenir de l'école, elle leur permet de s'approprier le projet de rénovation, de se projeter dans le futur proche de leur école et conduit ainsi à une participation active dans le projet de rénovation et dans l'exploitation future des bâtiments rénovés

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



*Remarque : cette analyse est sans doute la plus difficile à réaliser car elle collationne les besoins de nombreux acteurs, chacun ayant une vision différente de l'école et privilégiant certaines choses plutôt que d'autres.*

### → Analyse du contexte et de l'environnement immédiat des bâtiments scolaires et de la relation que ceux-ci entretiennent avec leur environnement.

Le mot « contexte » vient du verbe latin « con textere » : « tisser avec ». Il induit des notions de trame (tissu urbain, maillage écologique), de rythme et d'interdépendance (relation entre le bâtiment à rénover et son environnement).

Si un projet de rénovation de bâtiments scolaires, conçu de manière soutenable tente en priorité d'améliorer l'habitabilité et les qualités d'usage des bâtiments et leurs abords et d'augmenter les performances énergétiques et environnementales des bâtiments, le projet de rénovation doit également tenir compte de l'environnement immédiat de l'école dans l'objectif de :

- s'enrichir des avantages, des qualités ou des fonctions existantes de l'environnement immédiat ;
- d'enrichir le contexte environnant de qualités soutenables et durables
- de créer ou recréer des liens et des espaces « partagés » avec l'environnement immédiat

Pour ce faire, l'analyse se penchera sur :

- le contexte urbain dans lequel s'insère les bâtiments scolaires : l'école est-elle située en ville ou en zone rurale, l'école est-elle située dans un quartier d'habitations ou dans un quartier plutôt mixte ;
- la proximité de services et de commerces ;
- la possibilité de connexions au réseau de transport en commun et proximité des arrêts (bus, tram, métro) ;
- la proximité des parcs, pleine de jeux et autres espaces de détente ;
- la proximité d'infrastructures culturelles et/ou sportives : bibliothèque, théâtre, cinéma, hall de sport, piscine...

*Cette analyse devrait permettre d'identifier les relations que l'école entretient avec son voisinage immédiat, la présence ou l'absence de certaines infrastructures – en cas d'absence, ces infrastructures pourraient être prévues dans le projet de rénovation de l'école –, la présence ou l'absence d'espaces verts et de détente dont pourrait bénéficier l'école, l'accessibilité aux transports en commun...*

*L'objectif étant de susciter, de créer ou de renforcer les interactions, les échanges entre l'école et l'environnement immédiat par la mutualisation de fonctions et/ou d'espaces, par la participation à des activités communes de manière à favoriser l'intégration et la participation de l'école dans son environnement mais aussi favoriser les liens sociaux.*

### 0.6.2 Définition des objectifs, identification des options

Une fois ce premier diagnostic réalisé, il convient de se fixer des objectifs à atteindre. Ceux-ci peuvent être de plusieurs types : remédier à une situation d'insalubrité et/ou d'insécurité, atteindre une certaine efficacité énergétique, efficacité environnementale, revoir les qualités d'usage du bâtiment en fonction du projet pédagogique, agrandir l'école, offrir de nouvelles aires de jeux...

Mais tous sont l'occasion de lancer un projet de rénovation durable basé sur une approche transparente, holistique, participative et préventive ainsi que sur une vision à long terme.

Les situations d'insalubrité ou d'insécurité doivent être traitées prioritairement. Ni la santé, ni la sécurité des enfants ne peuvent être négligées.

*Les objectifs de qualité d'usage ou fonctionnels doivent être réfléchis suivant le projet pédagogique de l'école sur une vision à long terme (futur proche et plus lointain). Ils dépendront à la fois :*

- Des besoins pédagogiques ;
- Des qualités du/des bâtiments existants ;
- De la qualité des espaces extérieurs ;
- Des possibilités d'extension ou d'implantation de nouvelles fonctions
- De l'enveloppe financière

*Les objectifs énergétiques dépendront à la fois :*

- du type de bâtiment à rénover, de son implantation et de son environnement, de sa typologie, de ses composants ;
- du type de rénovation (légère ou lourde selon l'ampleur des travaux) ou d'extension avec rénovation que l'on souhaite réaliser ;
- de l'enveloppe financière



Les objectifs durables dépendront essentiellement de la volonté du concepteur et des acteurs de l'école à :

- travailler de manière globale en intégrant d'autres priorités que l'énergie (l'eau, les déchets, les matériaux,...)
- travailler avec les contextes existants (environnement, social, économique),
- participer au processus de rénovation et à la bonne exploitation du ou des bâtiments scolaires, une fois ceux-ci rénovés

Lors de la définition des objectifs, plusieurs options peuvent être envisagées. Celles-ci mettront en évidence différents niveaux d'exigences (pédagogiques, énergétiques et/ou environnementales). Ces différentes options doivent être analysées tant au niveau du budget que de la planification des travaux.

### 0.6.3. Analyse des contraintes et des actions à engager.

Qu'elles soient financières, techniques ou liées à un planning de travaux ou encore à l'exploitation future des bâtiments, de nombreuses contraintes ou obstacles peuvent apparaître dans la programmation d'un projet de rénovation.

Il est donc intéressant de pouvoir rapidement identifier ces contraintes et déterminer différentes actions à mener pour dépasser certaines d'entre-elles.

### 0.6.4. Planification des travaux

Il est difficilement envisageable de fermer pendant plusieurs mois voir pendant une année, des bâtiments scolaires et de délocaliser les enseignants et les élèves pour cause de travaux de rénovation.

Il convient donc de planifier les travaux en se posant différentes questions :

- Quels types de travaux sont envisagés ? : travaux structurels, travaux de démolition, travaux d'aménagement intérieur, réfection des réseaux (électricité, eau, ...), travaux d'agrandissement, remplacement de châssis, isolation des toitures...
- Qu'est-ce que ces travaux vont engendrer comme infrastructure de chantier ?
- Y-a-t'il un endroit dans l'école ou aux abords de l'école pour implanter cette infrastructure de chantier ?
- Qu'est-ce que ces travaux vont engendrer comme nuisances (bruit, poussières, autres) ?
- Qu'est-ce que ces travaux vont nécessiter en termes d'approvisionnement et circulation d'engins ?

Ces premières questions vont permettre d'évaluer si les travaux de rénovation sont envisageables durant les périodes scolaires et avec le fonctionnement interne de l'école.

Plusieurs cas sont alors potentiellement envisageables :

- Certaines classes ou locaux devront être relocalisés. L'école possède ou non suffisamment de locaux vacants pour permettre cette relocalisation.
- Les travaux envisagés peuvent être réalisés en plusieurs phases sur les périodes de congés scolaires ou au contraire ils doivent être réalisés sur plusieurs mois en une phase ;
- Les travaux envisagés demandent la fermeture de l'école pendant plusieurs mois et impliquent la relocalisation de l'ensemble des enseignants et des élèves...

### 0.6.5. La participation des acteurs de l'école : les enseignants et les élèves

La rénovation durable de bâtiments ne détermine pas un nouveau mode de vie mais elle s'inscrit dans une prise de conscience, plus ou moins rapide, que l'avenir de la planète dépend d'un certain nombre d'actions à prendre, tant au niveau énergétique qu'au niveau environnemental.

Un projet de rénovation de bâtiments scolaires, pensé, réalisé et exploité de manière durable est une réelle opportunité pour informer et conscientiser les acteurs d'une école, et principalement les enfants, des enjeux énergétiques, environnementaux et sociaux de notre société. C'est également une très grande opportunité pour promouvoir un changement de comportement et de mentalité par rapport à l'usage et à l'utilisation des bâtiments. En effet, en apprenant aux enfants à penser, agir et consommer autrement ; en les faisant vivre dans un bâtiment « exemplaire » et en les conscientisant sur l'usage et le fonctionnement de celui-ci, c'est l'ensemble des familles de l'école rénovée qui va être touché et conscientisé et qui, à plus ou moins court terme, modifiera ses comportements.

Ceci s'est vérifié en France au niveau de l'alimentation. Certaines écoles françaises, pour enrayer un phénomène

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



de « malbouffe » ont décidé que les enfants prendraient tous leurs repas à l'école pendant plusieurs semaines. L'objectif était de les conscientiser et les informer sur une alimentation saine. Cette initiative a eu comme conséquence de toucher une majorité des familles qui ont, par le biais de leur enfants, changé leurs habitudes alimentaires.

Lors du projet de rénovation de bâtiments scolaires, certains choix devront être faits par les acteurs de l'école, le pouvoir organisateur et financier et le concepteur de manière à améliorer sensiblement les performances énergétiques et environnementales de ceux-ci.

Si l'on souhaite que les bâtiments atteignent le maximum des performances pour lesquelles ils ont été rénovés et qu'ils maintiennent ces performances dans le temps, il est essentiel que les différents acteurs de l'école comprennent, acceptent et adoptent certains comportements, en particulier au niveau de leur consommation et de leur confort (chauffage, éclairage, eau, ...),

L'acceptation de nouveaux comportements - et donc leur adoption - seront facilités si les acteurs de l'école sont associés le plus en amont possible au projet de rénovation et si ce projet tient compte des besoins spécifiques.

Certains thèmes essentiels, comme la consommation en eau, le tri sélectif et la collecte des déchets, devront faire l'objet de campagne d'information et de sensibilisation durant les phases de conception du projet de rénovation et de chantier des bâtiments mais peuvent également faire l'objet de thématique de cours ou de thème d'année.

De plus, l'implication des occupants/utilisateurs et leur responsabilité quant au bon fonctionnement des différents systèmes et/ou techniques intégrés dans les bâtiments rénovés impose également de la part de ceux-ci un contrôle régulier des consommations et un entretien ou une maintenance des systèmes en place.

C'est pourquoi, au niveau des bâtiments scolaires plusieurs peuvent être mises en place :

- l'ensemble des acteurs de l'école reçoivent une information générale sur le fonctionnement du bâtiment et des différents systèmes ou techniques intégrées et ce, dès la réoccupation des locaux. Cette information est importante car elle permet de conscientiser les utilisateurs sur l'influence qu'ils peuvent avoir dans la qualité d'usage et le bon fonctionnement du bâtiment ;
- Cette information peut être complétée par une courte période de suivi et de réadaptation avec un conseiller technique ;
- Une personne dans l'école – le concierge, la personne chargée de l'entretien de l'école ou encore un enseignant motivé – devra acquérir les compétences techniques nécessaires à la gestion et à la maintenance du bâtiment. Cette personne a un rôle majeur dans l'école car elle devra constamment conscientiser les utilisateurs sur le bon usage du bâtiment.

### 0.6.6. Le point de vue économique

Construction et rénovation passives, environnementales, durables sont aujourd'hui perçues comme une contrainte financière et technique supplémentaire même si tout le monde s'accorde aujourd'hui sur l'importance de construire vert, passif et durable...

Il est clair et évident que rénover en profondeur une école en tendant vers le concept passif ou basse énergie n'est pas chose aisée tant d'un point de vue économique que d'un point de vue pratique et technique.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cela :

- les doutes qu'ont les maîtres d'ouvrages privés sur les surcoûts éventuels liés à ce type de rénovation et sur l'augmentation réelle du confort ;
- les déficits en termes d'information, de formation et de savoir-faire dans le secteur de la construction (architectes et entrepreneurs) qui entraînent inévitablement un surcoût.

Cependant, même si on peut considérer que rénover durablement et de manière énergétiquement poussée entraînera un surcoût par rapport à une rénovation traditionnelle, il est important de préciser qu'à long terme, ce type de rénovation s'avérera plus intéressante financièrement :

- les coûts liés à l'utilisation des bâtiments (chauffage, climatisation, éclairage, demande en électricité, demande en eau potable...) vont fortement diminués, contrairement aux différents vecteurs énergétiques qui ne vont qu'augmenter dans les prochaines décennies ;
- la valeur et la qualité des bâtiments scolaires vont augmenter, du fait de ses performances ; ce qui aura comme conséquence d'améliorer les performances d'apprentissage des enfants et de motiver les enseignants.

*Mais il reste une question fondamentale en termes de confort, de bien-être et de qualité de vie : peut-on réellement chiffrer le bénéfice « humain » et « social » de ce type de rénovation ?*

*Peut-on réellement mettre un prix sur le confort et le bien-être des enfants et sur leur efficacité d'apprentissage ?*

*Peut-on réellement mettre un prix sur un air plus pur à respirer ?*

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 0. INTRODUCTION



*Peut-on mettre un prix sur les relations sociales que nous établissons dans notre quartier ou à l'école de nos enfants ?*

*Peut-on mettre un prix sur le bonheur de pouvoir circuler à pied ou en vélo sans danger, de profiter des espaces verts environnants et accessibles ?*

C'est bien en se posant ces questions qu'on peut ressentir tout le potentiel de « richesse » si difficilement quantifiable de la construction et de la rénovation durable.

La crise économique dans laquelle nous vivons aujourd'hui n'est-elle donc pas l'occasion rêvée pour changer radicalement nos modes de pensées et d'agir en remettant l'Homme, être faisant partie d'un écosystème environnemental, social et économique, au centre de nos préoccupations constructives.





## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

<b>1.</b>	<b>La notion de confort</b>	<b>035</b>
1.1.	Les différents confort	036
1.1.1	<i>Le confort thermique</i>	036
1.1.2.	<i>Le confort acoustique</i>	037
1.1.3.	<i>Le confort visuel</i>	037
1.1.4.	<i>Le confort respiratoire ou la qualité de l'air intérieur</i>	038
1.2.	L'influence de l'inconfort sur la santé et le comportement des enfants	039
1.2.1.	<i>L'inconfort thermique</i>	039
1.2.2.	<i>L'inconfort acoustique</i>	039
1.2.3.	<i>L'inconfort visuel</i>	040
1.2.4.	<i>L'inconfort respiratoire ou une mauvaise qualité de l'air</i>	040
<b>2.</b>	<b>Optimiser le confort dans les locaux de classe - objectifs à atteindre</b>	<b>041</b>
2.1.	Norme européenne et réglementations sur le confort des classes	041
2.2.	Première étape, l'audit du bâtiment	042
2.3.	Seconde étape, fixer des objectifs	042
2.3.1.	<i>Objectifs pour le confort thermique</i>	043
2.3.2.	<i>Objectifs pour le confort acoustique</i>	043
2.3.3.	<i>Objectifs pour le confort visuel</i>	044
2.3.4.	<i>Objectifs pour assurer la qualité de l'air intérieur</i>	045

Image: Sylvie Rouche

<b>3.</b>	<b>Assurer le confort thermique des élèves et des enseignants à l'école</b>	<b>047</b>
3.1.	Stratégies pour garantir le confort thermique	047
3.1.1.	<i>La stratégie du chaud</i>	047
3.1.2.	<i>La stratégie du froid</i>	048
3.2.	Optimiser le volume et la compacité du bâtiment existant	048
3.2.1.	<i>Optimiser le volume</i>	048
3.2.2.	<i>Répartition des différentes fonctions selon l'orientation</i>	049
3.3.	Optimiser les performances de l'enveloppe d'un bâtiment scolaire existant	050
3.3.1.	<i>Pérennité des matériaux de l'enveloppe</i>	051
3.3.2.	<i>Qualité de la mise en oeuvre</i>	051
3.3.3.	<i>Entretien et maintenance</i>	052
3.4.	Isoler l'enveloppe	052
3.4.1.	<i>Notions de base</i>	052
3.4.2.	<i>Techniques et matériaux d'isolation</i>	054
3.4.3.	<i>Isoler - étape 1: Evaluer l'état de l'enveloppe</i>	061
3.4.4.	<i>Isoler - étape 2: Délimiter le volume protégé</i>	061
3.4.5.	<i>Isoler - étape 3: Choisir les performances à atteindre</i>	062
3.4.6.	<i>Réparations , entretien et maintenance</i>	066
3.5.	Traiter les ponts thermiques	067
3.5.1.	<i>Notions de base</i>	067
3.5.2.	<i>Ponts thermiques - étape 1: Détecter les ponts thermiques</i>	068
3.5.3.	<i>Ponts thermiques - étape2: Evaluer les déperditions et le risque de condensation</i>	068
3.5.4.	<i>Ponts thermiques - étape 3: Résoudre les ponts thermiques</i>	069
3.6.	Etanchéifier (à l'air) l'enveloppe	072
3.6.1.	<i>Notions de base</i>	072
3.6.2.	<i>Etanchéité à l'air - étape 1: Evaluer l'étanchéité à l'air du bâtiment</i>	073
3.6.3.	<i>Etanchéité à l'air - étape 2: Conception et qualité de mise en oeuvre sur le chantier</i>	074
3.6.4.	<i>Etanchéité à l'air - étape 3: Améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment</i>	074
3.7.	Optimiser les surfaces vitrées	075
3.7.1.	<i>Notions de base</i>	076
3.7.2.	<i>Surfaces vitrées - étape 1: Vérifications préliminaires</i>	078
3.7.3.	<i>Surfaces vitrées - étape 2: Choix de rénovation</i>	080
3.7.4.	<i>Surfaces vitrées - étape 3: Mise en oeuvre</i>	081
3.8.	Les protections solaires ou la gestion des gains solaires	082
3.8.1.	<i>Les indicateurs utiles</i>	082
3.8.2.	<i>Les différentes protections solaires</i>	083
3.8.3.	<i>Les protections solaires en rénovation</i>	085
3.9.	Limiter la surchauffe - la rénovation et l'inertie thermique	086
3.9.1.	<i>Les indicateurs utiles</i>	086
3.9.2.	<i>Caractéristiques physiques de certains matériaux de construction</i>	086
3.9.3.	<i>Rôles et impact de l'inertie thermique</i>	088
3.9.4.	<i>Augmenter l'inertie thermique d'un bâtiment en rénovation</i>	088
3.10.	Dissiper la surchauffe - la ventilation naturelle intensive en rénovation	090
3.10.1.	<i>Notions de base</i>	090

<b>4.</b>	<b>Optimiser le confort visuel à l'école</b>	<b>092</b>
4.1.	Stratégie de la lumière naturelle	092
4.2.	Notions de base	092
4.2.1.	<i>L'éclairage naturel et ses variations</i>	092
4.2.2.	<i>Caractéristiques de base du confort visuel</i>	093
4.3.	Optimiser le confort visuel dans les locaux de classe	096
4.3.1.	<i>Evaluer la qualité de l'éclairage d'un local</i>	096
4.3.2.	<i>Types de local de classe et aménagement</i>	096
4.3.3.	<i>Améliorer l'éclairage naturel d'un local de classe</i>	097
4.3.4.	<i>Apport de l'éclairage artificiel</i>	100
<b>5.</b>	<b>Assurer le confort acoustique</b>	<b>101</b>
5.1.	Notions de base	101
5.1.1.	<i>Le son et le bruit</i>	101
5.1.2.	<i>La perception du bruit - confort sonore</i>	102
5.1.3.	<i>Les types de bruit</i>	102
5.1.4.	<i>La propagation du bruit</i>	103
5.2.	Isolation et correction acoustique	104
5.2.1.	<i>Caractéristiques acoustiques des matériaux de construction</i>	104
5.2.2.	<i>Principes d'isolation acoustique</i>	105
5.2.3.	<i>Principes de correction acoustique</i>	106
5.3.	Améliorer le confort acoustique dans les locaux de classe	106
5.3.1.	<i>Evaluer la situation existante - local par local</i>	107
5.3.2.	<i>Améliorer l'isolation acoustique du local de classe - nuisance extérieure au bâtiment</i>	107
5.3.3.	<i>Améliorer l'isolation acoustique du local de classe - nuisance intérieure au bâtiment</i>	109
5.3.4.	<i>Améliorer l'isolation acoustique du local de classe - nuisance due à un équipement</i>	111
5.3.5.	<i>Correction acoustique d'un local</i>	111
<b>6.</b>	<b>Assurer le confort respiratoire ou la qualité de l'air intérieur</b>	<b>113</b>
6.1.	Limiter la pollution de l'air intérieur	113
6.1.1.	<i>Polluants extérieurs et intérieurs</i>	113
6.1.2.	<i>Evaluation de la pollution intérieure - local par local</i>	115
6.1.3.	<i>Limiter la pollution intérieure par un choix adapté des matériaux de construction</i>	115
6.1.4.	<i>Responsabilité des occupants face à la qualité de l'air intérieur</i>	117
6.2.	Installer et/ou optimiser un système de ventilation	117
6.2.1.	<i>La ventilation hygiénique dans les écoles</i>	117
6.2.2.	<i>Différence entre infiltrations d'air, ventilation hygiénique et ventilation intensive</i>	118
6.2.3.	<i>Ventilation, réglementations en vigueur et objectifs à atteindre</i>	118
6.2.4.	<i>Les différents systèmes de ventilation envisageables en rénovation</i>	118
6.2.5.	<i>Critères de choix pour l'installation d'un système de ventilation</i>	123
6.2.6.	<i>Ventilation et filtration</i>	124
6.2.7.	<i>Ventilation et rénovation</i>	125
<b>7.</b>	<b>Confort d'usage - L'école, un espace pour apprendre</b>	<b>128</b>
7.1.	Confort d'usage - Spatialité et pédagogie	128
7.1.1.	<i>L'enfant, un usager spécifique</i>	128
7.1.2.	<i>Les classes de l'enseignement maternel</i>	129

7.1.3.	<i>Les classes de l'enseignement fondamental</i>	129
7.2.	Confort d'usage - Une école accessible à tous	129
7.2.1.	<i>Accessibilité - les grands principes</i>	129
7.3.	Rénovation des écoles, comment répondre aux besoins actuels et futurs	131
7.3.1.	<i>Flexibilité, neutralité et évolutivité</i>	131
7.3.2.	<i>Qualité d'usage des locaux scolaires</i>	132
7.3.3.	<i>Espaces modulaires ou à moduler entre plusieurs locaux de classe</i>	133
7.3.4.	<i>Facilité d'usage des bâtiments performants: simplification des installations techniques</i>	134
7.4.	Apprentissage et nouvelles technologies: quels impacts?	134
7.4.1.	<i>E-learning, croissance de l'informatique à l'école et gestion de l'énergie</i>	134
7.4.2.	<i>Présence d'installations électriques, de téléphonie mobile et d'installation WI-FI: quels impacts sur la santé des enfants?</i>	136
<b>8.</b>	<b>Améliorer la qualité de vie à l'école</b>	<b>138</b>
8.1.	Optimiser les espaces extérieurs de l'école	138
8.1.1.	<i>La cour de récréation</i>	139
8.1.2.	<i>Conserver et/ou ramener de la végétation dans l'école</i>	143
8.2.	Encourager la mobilité douce des élèves et enseignants	145
8.2.1.	<i>Réduire l'utilisation de la voiture, choix pédagogique de l'école</i>	145
8.2.2.	<i>Moyens à mettre en oeuvre</i>	146
8.3.	Favoriser les échanges et les interactions entre l'école et son environnement immédiat	149
<b>9.</b>	<b>Confort et qualité de vie - Méthode d'évaluation BREEAM</b>	<b>150</b>
8.1.	HEA 01 : Confort visuel	
8.2.	HEA 02 : Qualité de l'air intérieur	
8.3.	HEA 03 : Confort thermique	
8.4.	HEA 04 : Qualité de l'eau	
8.5.	HEA 05 : Performance acoustique	
8.6.	HEA 06 : Sûreté et sécurité	
8.7.	MAN 04 : Participation des occupants	
8.8.	ENE 01 : Réduction des émissions (gaz à effet de serre)	
8.9.	TRA 01 : Accessibilité et proximité des transports publics	
8.10.	TRA 03 : Installations pour cyclistes	
8.11.	TRA 05 : Plan de transport	
8.12.	LE 04: Amélioration de l'écologie du site	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.1. La notion de confort



Le confort est défini comme un état de bien-être général et stable ressenti par l'homme par rapport à son environnement. Différents paramètres physiques de l'environnement influencent le confort :

- paramètres thermiques tels que la température ambiante de l'air, la température des parois, la vitesse de l'air et l'humidité relative ;
- paramètres de qualité de l'air tels que la vitesse de l'air, le renouvellement d'air frais, l'humidité relative, la présence d'odeurs ou de polluants ;
- paramètres acoustiques tels que le niveau de bruit ambiant, les nuisances acoustiques (extérieures et intérieures) et le temps de réverbération du bruit ;
- paramètres visuels tels que la quantité de lumière naturelle, les couleurs et texture des parois, la distribution de la lumière dans les espaces et volumes, la vue vers l'extérieur.

Certains paramètres, propres à chaque individu, conditionnent également la perception du confort. Il s'agit du métabolisme, de l'habillement, de l'état de santé et de l'état psychologique. Ce sont des paramètres sur lesquels l'architecte n'a aucune emprise. Le confort n'est pas un phénomène uniquement physique. L'être humain ressentira une sensation de confort par rapport à son environnement s'il peut :

- adapter son comportement par rapport à une situation qu'il juge inconfortable (= capacité d'adaptation);  
*exemple : enlever son pull en cas de température trop élevée*
- interagir avec son environnement pour en améliorer le confort  
*exemple : ouvrir une fenêtre pour ventiler le local, descendre un store pour se protéger du soleil...*

Dans le cadre d'une rénovation durable de bâtiments scolaires, mettre la priorité sur l'amélioration du confort permet de replacer l'utilisateur au cœur du projet et d'intégrer les besoins spécifiques de l'enfant ou de l'adolescent. Cette priorité est d'autant plus importante que :

- la population fréquentant les écoles est une population importante, tant au niveau des enfants que des enseignants ;
- le développement physique et psychique des enfants est fortement influencé par les milieux ou environnements dans lesquels ils vivent, principalement l'école et le lieu d'habitation ;
- les espaces scolaires, intérieurs ou extérieurs, sont également une grande source d'apprentissage

*L'espace construit est source d'éveil, d'émotions suscitées par les matières, les formes, les couleurs, les sonorités, les lumières. Il a une fonction éducative indéniable et participe à l'autonomie et au développement cognitif, psychologique, affectif et social des enfants.*

Source: Suzanne DEOUX, Bâtir pour la santé des enfants, Medieco Editions, 2010

Il y a encore une notion complémentaire à la notion de confort, il s'agit de la qualité de vie de l'être humain qui peut être définie suivant une série de paramètres liés à la qualité de son environnement extérieur (bâti et non bâti) et aux relations que l'être humain partage avec son environnement. Ces paramètres sont les suivants :

- la qualité de l'environnement extérieur immédiat : présence d'espaces collectifs ou de rencontre, d'espaces publics et d'espaces verts ;
- la possibilité et la facilité de se déplacer à pieds ou à vélo, de manière sécurisée ;
- la présence de services de proximité, accessibles à pieds ou à vélo ;
- l'existence d'une vie de quartier

Ces différents paramètres vont susciter chez l'habitant d'un quartier ou chez l'utilisateur d'un immeuble de ce quartier un sentiment d'appartenance et un sentiment de sécurité nécessaires à la qualité de vie « ressentie ». Ces différentes notions seront succinctement abordées dans ce chapitre.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

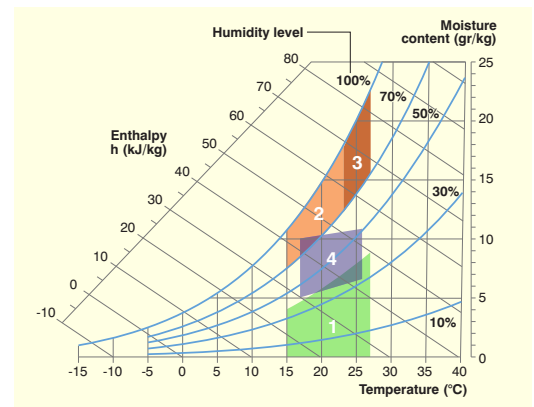
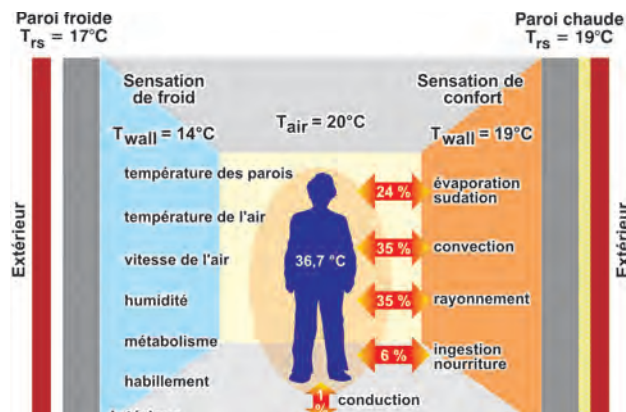


### 1.1.1. Les différents confort

#### 1.1.1.1. Le confort thermique

*Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique. Le confort est un état d'équilibre entre l'homme et l'ambiance intérieure dans laquelle il vit ou travaille.*

Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Comme cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, un équilibre doit être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu. Cet équilibre « thermique » entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes décrits par le schéma ci-dessous.



Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau). Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan. Cette importance de nos échanges par rayonnement explique pourquoi nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent.

#### → Les 6 paramètres définissant le confort thermique:

Le confort thermique dépend de 6 paramètres :

- Le **métabolisme** c.-à-d. la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C ;
- L'**habillement**, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- La **température ambiante de l'air**  $T_a$  et la température moyenne des parois  $T_p$ .
- L'**humidité relative de l'air** (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $t_a$  et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- La **vitesse de l'air**, qui influence les échanges de chaleur par convection.

#### → Perceived comfort temperature

On définit une température de confort ressentie - aussi appelée «température opérative» ou «température résultante sèche» - par la formule :  $T^{\text{opérative}} = (T^{\text{air}} + T^{\text{parois}}) / 2$

Cette formule s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

#### → Régulation naturelle

Le corps humain a la capacité de s'adapter à une échelle de température, que ce soit en hiver ou en été, en conservant, grâce à divers mécanismes, une température corporelle quasi constante, aux alentours de 37°C. L'hypothalamus, qui contient le centre thermorégulateur, analyse la température en permanence, et la compare à une valeur de consigne (environ 37 °C). Lorsque la température du corps est supérieure à la valeur de consigne, l'hypothalamus provoque le phénomène de transpiration. L'évaporation de la sueur provoque un abaissement de la température de la peau. Lorsque la température du corps est inférieure à la valeur de consigne, l'hypothalamus active plusieurs mécanismes de thermogénèse tels que la vasoconstriction qui diminue les déperditions de chaleur à la surface du corps (chair de poule), l'activité musculaire (les frissons) et le métabolisme qui produit de la chaleur.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Confort et humidité relative

L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans le local où il se trouve. L'inconfort n'apparaît que dans des situations extrêmes : soit une humidité relative inférieure à 30 %, soit une humidité relative supérieure à 70 %. Pour un confort optimal, on recommande une humidité relative entre 40 et 65 % pour une température de l'air d'environ 22°C. Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme (page précédente).

### 1.1.1.2. Le confort acoustique

Un bon confort acoustique a une influence positive sur la qualité de vie au quotidien et sur les relations entre usagers d'un bâtiment. A contrario, un mauvais confort acoustique génère des effets négatifs sur l'état de santé en suscitant nervosité, stress, problèmes de sommeil et fatigue.

Le confort acoustique est primordial dans les lieux scolaires et particulièrement dans les salles de cours puisque les apprentissages se font essentiellement par communication orale.

*«A l'école, l'acquisition du savoir, des compétences et des règles de vie en société s'appuie très largement sur la communication orale. La voix de l'enseignant doit pouvoir être entendue, écoutée et comprise par les élèves. S'il est important que ces derniers apprennent à gérer leur propre bruit pour ne pas perturber la vie du groupe, la maîtrise des sons et des bruits à l'école permet d'obtenir une qualité de paysage sonore compatible au développement physique et intellectuel des enfants. Les établissements d'enseignement sont donc des bâtiments où la qualité des ambiances acoustiques est intrinsèquement liée à leur qualité d'usage. Un environnement sonore optimisé est à la base d'une compréhension confortable durant des périodes prolongées de concentration. L'apprentissage est y plus aisé et moins fatiguant, l'enseignant plus efficace et moins stressant.»* » Source: Suzanne DEOUX, Bâtir pour la santé des enfants, Medieco Editions, 2010

Le but de la communication parlée est la transmission de sens et non l'unique transmission de mots. En milieu scolaire, l'intelligibilité ou la compréhension de l'échange verbal dépend du niveau de parole, de la prononciation, des caractéristiques du bruit interférant (l'ambiance sonore dans la classe) et des caractéristiques acoustiques du local dans lequel le message oral est produit (résonance du son dans le local ou temps de réverbération).

Dans une classe, le niveau de voix moyen d'un enseignant est d'environ 60 dB (+/- 4 dB) à un mètre de distance, ce qui correspond aux premiers rangs d'élèves et se situe entre 45 et 52 dB en fond de local.

La plus grande partie de l'énergie de la parole se situe dans une gamme de fréquence allant de 100 Hz à 6000 Hz et, plus particulièrement pour la compréhension entre 300 et 3000 Hz.

Le bruit ambiant ou le bruit de fond interfère avec la parole de l'enseignant par effet de masque, rendant ainsi le langage incompréhensible : plus le bruit de fond se situe dans les mêmes fréquences que la parole, plus son pouvoir masquant est important et moins le discours est compréhensible pour l'auditoire.

Une consigne ou un enseignement, prononcé à voix forte pour surmonter le bruit de fond suscite à la fois un effort supplémentaire de l'élève pour écouter et comprendre le contenu, ce qui entraîne une fatigue de l'enfant et une fatigue vocale de l'enseignant qui entraîne un stress pour celui-ci.

Un bon isolement acoustique des locaux entre eux et des locaux par rapport à l'extérieur, que ce soit au niveau des murs ou des planchers, est également nécessaire pour que l'ensemble des activités menées au sein de l'école puisse se dérouler sans qu'elles ne se perturbent mutuellement ou soient perturbées par des bruits extérieurs (trafic routier, ferroviaire et aérien, activités, ...).

### 1.1.1.3. Le confort visuel

#### → La lumière

La perception de la lumière est un des sens les plus importants de l'homme. Grâce à cette perception, il peut appréhender facilement l'espace qui l'entoure et se mouvoir aisément dedans. L'œil, jouant le rôle d'interface avec l'environnement est sensible non seulement aux caractéristiques de la lumière, mais aussi au niveau de ses variations et de sa répartition. L'œil a cependant des limites au niveau « adaptation » et « accommodation », ce qui constitue les limites du confort visuel.

#### → Le confort visuel

À l'instar du confort thermique, le confort visuel est, non seulement une notion, objective faisant appel à des paramètres quantifiables et mesurables, mais aussi à une part de subjectivité liée à un état de bien-être visuel dans un environnement défini.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Le confort visuel dépend à la fois :

- des paramètres physiques comme l'éclairage, la luminance, ... ;
- des caractéristiques liés à un environnement interne, externe, ... ;
- des caractéristiques propres à la tâche à réaliser comme la lecture, le travail de bureau, le travail au tableau...
- des facteurs physiologiques tels que l'âge, ... ;
- des facteurs psychologiques et sociologiques comme la culture, l'éducation, ...

Les paramètres physiques tels que la luminance, l'éclairage, l'éblouissement et les contrastes sont les paramètres les plus perceptibles par l'homme et donc les représentatifs du confort visuel. À ces paramètres, on associe des valeurs qui garantissent le bon déroulement d'une tâche sans fatigue ni risque d'accident :

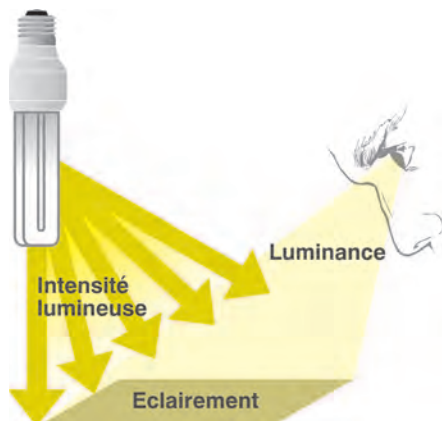


Image: Sylvie Rouche



Image: Sylvie Rouche

- L'éclairage est mesuré en lux ( $1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$ ). Il est défini comme la quantité de flux lumineux (lumière) reçu par une surface ;
- La luminance, plus représentative de la perception réelle de l'œil, est mesurée en  $\text{candela}\cdot\text{m}^2$  ou  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Elle correspond à la sensation visuelle créée par une source ou une surface éclairée ;
- L'éblouissement constitue le paramètre le plus gênant dans la réalisation d'une tâche. L'éblouissement peut être direct ou indirect. Il se mesure avec un luminancemètre visant une direction bien spécifique.

### 1.1.1.4. La qualité de l'air ou le confort respiratoire

Si le taux de ventilation d'une salle de classe est insuffisant, l'air y est rapidement vicié par de multiples agents. En effet, le gaz carbonique produit par les occupants, les micro-organismes et matières odorantes dont ils sont porteurs,... maintiennent chaque personne dans une ambiance de plus en plus malsaine : la respiration est moins active, une fatigue prématurée apparaît, la concentration des élèves diminue... Le risque de maux de tête et de contamination augmente, ... L'homme au repos ne consomme qu'environ  $0,5\text{ m}^3$  d'air par heure pour respirer. Selon le type d'activité, ce taux peut atteindre  $5\text{ m}^3/\text{h}$ , alors que pour rencontrer le niveau de qualité requis, le taux de ventilation d'un local doit être au minimum de  $16\text{ m}^3/\text{h}$  par personne (au repos).

Les diverses substances de contamination et de pollution sont les germes pathogènes, les particules radioactives, les poussières, les molécules organiques, les matières odorantes, le gaz carbonique<sup>1</sup>. Certaines de ces substances peuvent être détectées immédiatement, d'autres ne sont pas décelables par les sens, même lorsque leur concentration dépasse la limite admissible.

Deux paramètres influencent donc le confort respiratoire

- le taux de renouvellement d'air ;
- les polluants, micro-organismes et matières odorantes inhérentes d'une part aux matériaux et mobiliers utilisés dans les espaces de vie et de travail et d'autre part, par l'occupation des locaux et l'activité qui s'y déroule.

#### → Le taux de renouvellement de l'air

Il existe une relation entre le débit d'air frais et le pourcentage prévisible de personnes insatisfaites (PPD) par la qualité de l'air ambiant. Une concentration de  $\text{CO}_2$  maximale de  $0,15\%$  (ou  $1\ 500\text{ ppm}$ ) en volume correspond à un renouvellement d'air de  $20\text{ m}^3/\text{h}$  par personne, soit un pourcentage prévisible d'insatisfaits de près de  $25\%$ . Les normes internationales

<sup>1</sup> Nous ne parlons pas ici de la fumée de cigarette qui est toujours considérée comme le polluant intérieur le plus important. Les bâtiments scolaires sont pour la grande majorité, des bâtiments mais aussi des espaces extérieurs « non fumeur ». Ce polluant ne doit donc pas être pris en compte dans ce contexte.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

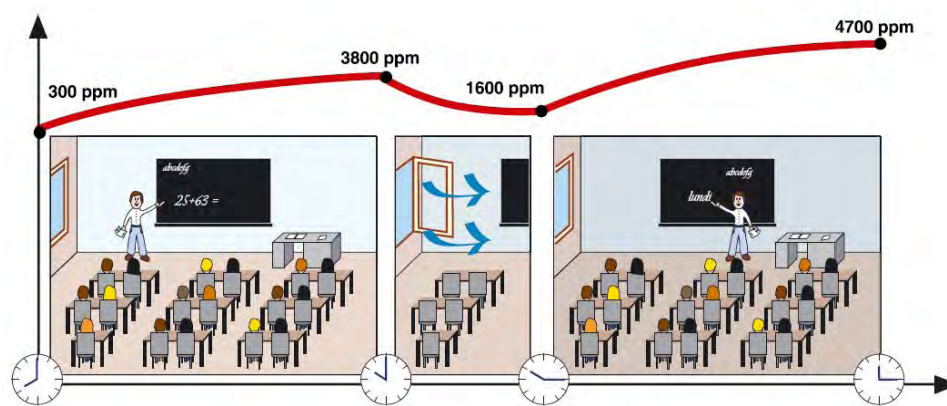


suggèrent de n'admettre que 20 % maximum de personnes insatisfaites, ce qui correspond à un renouvellement d'air de 30 m<sup>3</sup>/h par personne.

La norme européenne EN 13779 (Ventilation for buildings - Performance requirements for ventilation and air-conditioning systems, Commission technique CEN/TC 156, 1999) propose 3 débits d'air neuf à respecter en fonction de la qualité de l'ambiance à respecter (pour les locaux sans fumeurs) :

- air ambiant d'excellente qualité : débit d'air neuf de 36 m<sup>3</sup>/h.pers
- air ambiant de qualité standard : débit d'air neuf de 22 m<sup>3</sup>/h.pers
- air ambiant de faible qualité mais acceptable : débit d'air neuf de 15 m<sup>3</sup>/h.pers

La norme EN15251 propose un débit d'air neuf pour les locaux de classe de 7 l/s ou 25.2 m<sup>3</sup>/h par personne. Ce débit tient compte des différents polluants intérieurs.



Exemple de l'évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> dans une classe:

Classe de 25 élèves, 2h de cours -> 1/4h de pause -> 2h de cours

Cas où «aucun système de ventilation n'est installé», infiltration: 0.2 Vol/h durant les cours et 4 Vol/h durant la pause.

Source: CETIAT, Ventilation perfor-

### 1.1.2. L'influence de l'inconfort sur la santé et le comportement des enfants

L'état d'inconfort a un impact sur la santé, le comportement et les performances intellectuelles et/ou physiques des adultes et des enfants. La notion d'inconfort est moins perceptible chez les enfants car ceux-ci expriment beaucoup moins leur insatisfaction à l'égard de leur environnement et sont moins aptes à le juger inconfortable.

#### 1.1.2.1. L'inconfort thermique

L'être humain 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 les déperditions de chaleur (thermolyse) lorsque la température extérieure varie au-dessous ou au-dessus de la zone de neutralité thermique dans laquelle l'individu n'a pas à fournir d'effort pour maintenir la sienne.

**Les capacités de thermorégulation de l'enfant sont plus faibles que celles de l'adulte. Elles se distinguent de celles de l'adulte par des particularités morphologiques et physiologiques, même si la régulation centrale est déjà parfaitement fonctionnelle.**

**Diverses études suggèrent que les mécanismes de thermorégulation ne sont matures qu'après la puberté, en particulier lorsque les glandes sudoripares sont effectives. Cela signifie que la zone de confort dans le diagramme de Givoni est réduite par rapport à celle de l'adulte. Comparés à l'adulte, les échanges thermiques de l'enfant avec son environnement immédiat sont plus importants par conduction, convection et rayonnement et moins importants par évaporation.**

Le confort thermique, hiver comme été, d'un bâtiment scolaire ne se limite évidemment pas seulement aux salles de classe, mais le temps passé et la relative immobilité des enfants dans ces pièces augmentent les exigences de confort.

Les conséquences de l'inconfort hygrothermiques dans les salles de classe peuvent se présenter à la fois sous forme d'altérations des performances mais également sous forme d'altérations de la santé.

- une salle de cours où il fait trop froid détourne l'attention des enfants en les rendant agités et facilement distraits car ils cherchent alors une façon de se réchauffer ;
- des températures trop élevées, augmentées par la densité d'occupation des salles de cours, fatiguent élèves et enseignants et sont sources de somnolence et de maux de tête.

#### 1.1.2.2. L'inconfort acoustique

Le bruit dans les écoles est une nuisance importante qui affecte aussi bien les élèves que les enseignants et le personnel

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



y travaillant. Les études menées par Bruxelles Environnement ont mis en évidence des niveaux de bruit ambiant particulièrement élevés (>80 dB(A)) dans les réfectoires et préau fermés de nombreuses écoles bruxelloises. Une autre étude menée en 2009 en Ile de France dans 20 lycées a montré que 1 élève sur 2 et 1 professionnel sur 3 était soumis au cours de leur journée au lycée à une dose de bruit > à 80 dB(A)<sup>2</sup>

Des études de l'OMS démontrent que, dans ce contexte, des niveaux de bruit élevés réduisent l'acquisition du langage et de la lecture chez les enfants. De plus, une gêne engendrée par le bruit génère souvent des changements de comportements sociaux, réduit le comportement solidaire, favorise le comportement agressif et contribue au sentiment d'abandon.

Si tout le monde souffre du bruit, **le cas des enfants est plus grave encore. En effet, avant même d'altérer les systèmes auditifs ou cardiaques, le brouhaha dégrade l'apprentissage du langage dès le plus jeune âge.** Dans une salle de classe, le bruit de fond moyen est de 72 dB(A), soit celui d'un carrefour bruyant. Avec des enfants de cinq ans, le bruit de fond peut atteindre jusqu'à 90 à 95 dB(A). **Outre la fatigue et la perte de concentration, le problème de la compréhension du langage se pose puisque l'intelligibilité de la parole est abaissée de plus de 50 % avec un tel bruit de fond.** Si certains enfants réussissent à compenser ce déficit de compréhension en dehors de l'école, dans leur famille par exemple, ceux en difficulté vont commencer à accumuler les problèmes de langage d'abord, puis d'écriture et même de lecture.

**Outre ce problème de compréhension du langage, le bruit peut avoir différents effets sur la santé comme des effets physiologiques et psychologiques. Les effets physiologiques mieux identifiés sont les lésions auditives, les pathologies cardiovasculaires et la perturbation du sommeil. Le bruit accroît également le niveau de stress, l'anxiété, la fatigue nerveuse. Ce qui peut entraîner, entre autres, des atteintes aux fonctions immunitaires et endocriniennes.** Ces effets peuvent être quantifiés de façon relativement objective, par la mesure de différents paramètres (acuité auditive, dosages biologiques, pression artérielle...).

### 1.1.2.3. L'inconfort visuel

L'éblouissement, les reflets, l'intensité lumineuse insuffisante, la perte de contraste... peuvent générer une fatigue visuelle, des maux de tête et aggraver des troubles de la vision déjà existants. La capacité d'attention et la capacité de concentration seront plus élevées avec une ambiance lumineuse optimisée. L'enfant n'a pas conscience de la mauvaise qualité lumineuse ou du manque d'éclairage. Il s'adapte à un éclairage insuffisant en fournissant des efforts excessifs d'accommodation qui sont à l'origine d'une fatigue visuelle et d'une baisse d'activité que l'enfant peut exprimer.

Les symptômes sont oculaires, visuels ou généraux :

- la gêne oculaire se présente sous forme de sensations de tensions, de lourdeur ou de douleur des globes oculaires, de picotements, de brûlures ou de démangeaisons après accompagnées de larmoiements ;
- l'inconfort visuel se traduit par un affaiblissement de la vision de près ou de loin, sensations d'éblouissement, sensibilité accrue à la lumière ou difficulté de fixation ;
- les symptômes généraux sont surtout des céphalées frontales, une perte d'attention et plus rarement des vertiges.

### 1.1.2.4. L'inconfort respiratoire ou une mauvaise qualité de l'air

Les élèves, quel que soit leur âge sont tous vulnérables face à un air intérieur pollué. Plus l'élève est jeune, plus il sera sensible aux polluants de l'air car son métabolisme est plus rapide. A la différence d'un adulte, il respire davantage par la bouche et profite donc moins de la filtration nasale. Il respire plus vite, inhale plus d'air rapporté à la masse corporelle et absorbe deux fois plus de polluants. Des expositions répétées et prolongées à des concentrations souvent élevées de polluants sont lourdes de conséquences tant pour leur apprentissage en classe que pour leur avenir respiratoire.

*La réduction de la croissance des alvéoles pulmonaires et l'inflammation des voies aériennes durant la période de développement rapide du poumon affectent la fonction pulmonaire dont on connaît l'importance comme facteur de morbidité et de mortalité durant la vie d'adulte.*  
Source: Suzanne DEOUX, Bâtir pour la santé des enfants, Medieco Editions, 2010

Une mauvaise qualité de l'air dans les classes est synonyme de :

#### → Syndrome du bâtiment/école malsain

Depuis quelques décennies, on parle de « Syndrome de bâtiments malsains » dans les immeubles de bureaux pour évoquer des troubles de santé non spécifiques tels que maux de tête, fatigue, irritation des yeux, du nez, de la gorge, nausées, vertiges,... Ces mêmes troubles surviennent dans les écoles où se manifestent parfois des épisodes collectifs d'irritation des muqueuses et de la peau, de perception d'odeurs anormales, de sécheresse des yeux ou du nez, de céphalée, de malaise... Si de nombreux facteurs sont impliqués dans ces troubles, le manque de renouvellement d'air est souvent en cause.

2 *dB (A) : les mesures en décibels pondérés reflètent davantage la manière dont l'oreille perçoit de façon différenciée les fréquences. Le dB(A) est utilisé pour mesurer les bruits environnementaux. Il s'agit d'un décibel pondéré A qui constitue une unité du niveau de pression acoustique*

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Augmentation de la contagiosité des maladies infectieuses

Une mauvaise qualité de l'air participe à la propagation des maladies infectieuses. Plusieurs études ont démontré que le taux de renouvellement d'air influençait cette transmission. Le déficit, souvent permanent, de renouvellement d'air dans les locaux de classes contribue à augmenter le nombre d'infections virales comme les rhinopharyngites et les gripes.

### → Aggravation des problèmes allergiques et augmentation de l'absentéisme

Le confinement des salles de classe aggrave l'asthme qui touche de plus en plus d'enfants et d'enseignants en Europe<sup>3</sup>. L'asthme est la principale cause d'absentéisme scolaire du aux maladies chroniques.

*L'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) estime que l'asthme est responsable de 6 millions de journées d'école perdues par an pour les enfants américains. Source: Suzanne DEOUX, Bâtir pour la santé des enfants, Medieco Editions, 2010*

### → Altération des performances scolaires des élèves et des enseignants

La mauvaise qualité de l'air dans les locaux de classe n'offre pas un climat favorable à l'apprentissage des élèves et à l'efficacité des enseignants. Les performances des uns et des autres sont affectées : somnolence, baisse de l'attention. Différentes études ont démontré que le temps de réaction, les notes obtenues, la performance mentale sont diminués par un renouvellement d'air insuffisant ou une concentration élevée en CO<sub>2</sub>.

Dans la plupart des locaux scolaires européens, l'enseignant utilise des craies (blanches ou de couleurs) sur un tableau noir. La poussière de craie – poussière de silice - est considérée comme une particule très fine qui peut pénétrer profondément les voies respiratoires et être à l'origine d'allergie ou de facteur aggravant pour l'asthme.

## 1.2. Optimiser le confort dans les locaux de classe, les objectifs à atteindre

Assurer le confort de l'enfant et de l'enseignant dans les classes devrait être l'enjeu majeur de la rénovation d'une école.

**Dans le cadre d'une rénovation de bâtiment scolaire, bien que l'ensemble des thématiques du confort soient importantes, trois thématiques doivent être prioritairement prises en compte pour assurer tant la qualité de l'enseignement que la qualité d'apprentissage. Il s'agit du :**

- **Le confort respiratoire : taux de renouvellement d'air, limitation des polluants liés aux matériaux et aux activités ;**
- **Le confort acoustique : protéger le local de classe des nuisances de bruit extérieur ou provenant des autres locaux, limiter le niveau de bruit dans le local de classe et optimiser le temps de réverbération;**
- **Le confort visuel : assurer un niveau d'éclairage suffisant et uniformément réparti, principalement par l'apport de lumière naturelle.**

### 1.2.1. Normes et réglementations européennes sur le confort des locaux de classe

La norme EN15251 est la première norme européenne qui comporte des critères pour les quatre indicateurs d'ambiances intérieure: le confort thermique, la qualité de l'air, l'éclairage et l'acoustique:

- taux de ventilation recommandé pour les locaux de classe : 7 l/s par personne ou 25.2 m<sup>3</sup>/h par personne. Ce taux tient compte des polluants intérieurs
- la concentration maximale de CO<sub>2</sub> au-dessus de la concentration extérieure : 500 ppm
- plage de température pour le chauffage des locaux de classe : 20° to 24° C
- plage de température pour le refroidissement des locaux de classe: 23° à 26° C
- niveau de bruit (intérieur): 35 dB(A) (locaux de classe) – 40 dB(A) (autre espaces scolaires)
- niveau d'éclairage artificiel recommandé : 300 lx

Certains pays européens ont également des critères spécifiques pour assurer le confort dans les locaux de classe :

3 Plusieurs études européennes et mondiales ont démontré l'augmentation de l'asthme dans les milieux scolaires : étude ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) et l'étude européenne sur la santé respiratoire (ECRHS [European Community Respiratory Health Survey])

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



	Danemark Building code	Autriche EN 13779	Belgique EN 13779	Angleterre	USA- ASHRAE Standard 62.1 - 2001
Taux de ventilation minimal dans les classes	3 to 5 l/s par pers. + 0.35 l/s par m <sup>2</sup> de surface de sol	5.5 l/s par pers. ou 19.8 m <sup>3</sup> /h	6.1 l/s par pers. ou 22 m <sup>3</sup> /h	3 to 5 l/s par pers. ou 11 to 18 m <sup>3</sup> /h	7 l/s par pers. ou 25.2 m <sup>3</sup> /h
Niveau de bruit LAeg	35 dB(A)	/	/	35 dB(A)	/
Exigences supplémentaires	CO <sub>2</sub> control for 1000 ppm	CO <sub>2</sub> control for 1000 ppm	/	/	/

### 1.2.2. Première étape, l'audit du bâtiment

Avant d'entamer toute réflexion sur les objectifs à atteindre en termes de confort et de performances énergétiques ainsi que sur les mesures à prendre en considération, il est primordial de connaître l'état du ou des bâtiments que l'on souhaite rénover. C'est pourquoi on commencera toujours par une analyse ou un audit de celui-ci. L'audit du bâtiment peut à la fois considérer les aspects énergétiques et les aspects liés au confort.

#### → L'audit énergétique

L'audit énergétique consiste en l'analyse des conditions de fonctionnement d'un bâtiment afin d'établir un diagnostic de sa situation énergétique. Il permet d'identifier les postes les plus consommateurs et d'en déduire les améliorations les plus rentables. L'audit énergétique vise donc à :

- connaître l'efficacité énergétique d'un bâtiment, en établissant un état des consommations énergétiques tenant compte des caractéristiques du bâtiment et de ses usages;
- identifier les défauts énergétiques et expliquer d'éventuels dysfonctionnements;
- proposer des mesures correctrices tenant compte des diverses caractéristiques liées au bâtiment et à son utilisation (structure du bâtiment, composition des parois, type d'utilisation, type d'occupants, ...);
- évaluer les investissements et les économies réalisables, et établir une grille d'aide à la décision permettant d'établir un plan d'investissement justifié, à la fois aux niveaux énergétique, technique et financier.

L'audit énergétique d'une école peut se décomposer en plusieurs parties : audit de l'enveloppe du bâtiment, du système de chauffage du bâtiment, du système de ventilation du bâtiment, si celui existe, du système de climatisation, si celui-ci existe et du système d'éclairage.

#### → Confort audit

Au niveau du confort, l'audit permet d'identifier la source ou l'origine d'un inconfort, qu'il soit thermique, acoustique, visuel ou respiratoire : une surchauffe en été, une sensation de paroi froide en hiver, un éblouissement, un manque d'éclairage... Une série d'analyse et de mesures permettront d'évaluer le niveau de confort ou d'inconfort et de donner des pistes d'améliorations.

- le niveau de confort thermique : prédisposition du bâtiment à la surchauffe, présence de parois froide, manque d'étanchéité des parois ou des ensembles châssis/vitrage, type de chauffage, ...
- le niveau de confort visuel : niveau d'éclairage du local, uniformité d'éclairage, absence ou présence d'éblouissement, d'ombres ou de réflexions, rendu des couleurs, disposition et répartition des luminaires, niveau de satisfaction des occupants...
- le niveau de qualité de l'air intérieur : renouvellement d'air trop faible, débit de ventilation, présence de courant d'air, présence d'infiltrations d'air, présence de mobilier ou de matériaux émissifs...
- le niveau de confort acoustique : manque d'isolation par rapport aux bruits extérieurs, un manque d'isolation par rapport aux locaux voisins, une mauvaise étanchéité à l'air, la présence de bruits de ventilation ou d'autres équipements...

### 1.2.3. Deuxième étape, fixer des objectifs

L'ensemble des mesures d'amélioration du bâti existant doivent être considérées en tenant compte des besoins spécifiques et des priorités de chaque école, du budget et du temps dont elle dispose pour rénover ses bâtiments. Cependant, un besoin spécifique (ex. : remplacer les simples vitrages par du double ou triple vitrage) peut être l'occasion d'élargir le

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



débat et de revoir les objectifs :

- Les locaux de classes sont-ils suffisamment éclairés ? La surface vitrée est-elle optimale par rapport à la surface du local ?
- Faut-il prévoir une protection solaire ? Quelle est l'orientation de la façade ?
- Faut-il prévoir un système de ventilation naturelle (ouvrant, grille...) permettant de dissiper la surchauffe ?

### 1.2.3.1. Les objectifs pour assurer le confort thermique

Les objectifs pour assurer le confort thermique des enfants et des enseignants en classe sont les suivants :

- **Assurer une température de confort, en été comme en hiver** (ni trop chaud, ni trop froid) en se référant aux températures préconisées par la norme européenne ;

*Les normes européennes EN13779 et EN15251 préconisent une température de fonctionnement (ou température opérative) entre 20 à 24°C pour les locaux de classes en hiver et entre 23 et 26°C en été.*

- **Eviter les courants d'air non souhaités** c.-à-d. assurer une étanchéité à l'air adéquate

*Essayer de tendre vers un niveau d'étanchéité à l'air par le standard « passivhaus » ou par la réglementation en vigueur dans les différents pays européens et scandinaves*

- **Eviter de mettre les enfants en présence ou en contact avec des surfaces froides** qui peuvent être à l'origine de problèmes respiratoires ;

*Certains établissements mal isolés, anciens ou préfabriqués, peuvent présenter des températures de parois plus basses que la température de l'air et ainsi produire une sensation de froid.*

- **Permettre aux enfants de profiter des gains solaires en hiver** (en évitant l'éblouissement qui nuirait à leur confort visuel) **et de s'en préserver en été ou en mi saison.**

Dans un souci d'économie d'énergie, pour atteindre ces objectifs, chaque concepteur privilégiera toute solution dite « passive » permettant d'améliorer la performance énergétique de l'enveloppe des bâtiments scolaires et **l'utilisation d'énergie renouvelable en tant que complément pour atteindre les températures de confort (géothermie, photovoltaïque,...)**

Les mesures dites « passives » sont des mesures architecturales et constructives qui permettent d'assurer un bon confort thermique, sans, ou avec très peu d'apport d'énergie:

- une isolation thermique et une étanchéité à l'air suffisantes c.à.d. permettant d'atteindre le standard « basse énergie », voir le standard « passif » ;
- un traitement des ponts thermiques ;
- une inertie thermique adaptée aux besoins;
- une optimisation des surfaces vitrées ;
- des moyens de gestion des gains solaires passifs (ombrage, stores,...) ;
- des moyens de gestion de la ventilation naturelle du bâtiment, de jour comme de nuit ;

Les mesures actives – à savoir les technologies permettant de garantir le confort thermique par des actions mécaniques, en consommant de l'énergie pour compenser les défauts du bâtiment ou compléter les mesures passives sont les installations de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Ces mesures seront décrites au chapitre 2.

### 1.2.3.2. Les objectifs pour assurer le confort acoustique

La compréhension des phrases n'est complète que si la différence de niveau sonore entre la parole et le bruit de fond est supérieure à 15 dB(A) pour des enfants normoentendants et à 20 dB(A) pour des enfants présentant des troubles auditifs, des troubles de l'attention ou de l'hyperactivité.

Suivant les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les objectifs de confort acoustique pour les locaux scolaires est d'assurer :

- un niveau de bruit ambiant de maximum 35 dB(A) dans les locaux de classes ;
- un niveau de bruit ambiant de maximum 30 dB(A) dans les locaux dédiés à la sieste des petits enfants (maternelles) ;
- un niveau de bruit ambiant de maximum 40dB(A) dans les autres locaux ou espaces scolaires ;
- un niveau de bruit ambiant de maximum 45 dB(A) dans les couloirs et circulations ;
- un niveau de bruit ambiant de maximum de 50 dB(A) dans les cours de récréation et espaces extérieurs.

Ces valeurs de bruit de fond constituent un idéal à atteindre sur le long terme, idéal nécessaire au bon développement

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



physique et intellectuel des enfants.

### 1.2.3.3. Les objectifs pour assurer le confort visuel

Les activités dans un local de classe sont organisées autour du tableau (ou écran de projection), le plan de travail et le professeur. Il est donc important de considérer à la fois la qualité et la quantité de l'éclairage tant vertical (tableau et écran) qu'horizontal (plan de travail) et général (répartition sur l'ensemble du local).

Le Guide de l'éclairage de l'IESNA<sup>4</sup> donne des recommandations quant à la qualité de l'éclairage dans les écoles. Selon le guide, les facteurs qui contribuent de manière significative à la qualité de l'éclairage dans les écoles sont :

- l'utilisation de l'éclairage naturel et son contrôle (gestion) ;
- l'absence de réflexions et d'éblouissement direct ;
- l'absence de scintillements et de vibrations (effet de flickering) ;
- la distribution de la lumière sur les différentes surfaces du local ;
- l'uniformité de la lumière sur le plan de travail.

A cela, il faut encore rajouter un niveau d'éclairage suffisant de manière à offrir de l'éclairage naturel une très grande partie de la journée durant l'année scolaire ainsi qu'une vue vers l'extérieur pour l'ensemble des occupants de la classe de manière à créer une relation avec les espaces extérieurs et à offrir des perspectives permettant le repos de l'œil.

**En ce qui concerne l'amélioration du confort visuel, il est important de considérer la fenêtre ou la surface vitrée suivant deux stratégies :**

- **Offrir à tous les occupants une vue vers l'extérieur qui permette une relation entre les espaces intérieur et extérieur. La vue à travers une fenêtre, même si elle n'est pas spécialement attrayante, permet de se situer par rapport au monde extérieur. La possibilité de regarder à travers une fenêtre est reposante et d'autant plus fondamentale que la tâche visuelle nécessite une vision détaillée et proche.**
- **Offrir un niveau de confort visuel en adéquation avec les différentes activités qui se déroulent dans le local et ce, peu importe l'endroit où l'on se situe dans la classe**

#### → Proportion de surface vitrée par rapport à la surface du local

La quantité de lumière qui rentre dans un local et sa distribution dans l'espace sont souvent dépendantes de la taille de la ou des fenêtres, de leur orientation, de leur distribution dans la façade ou dans l'espace, de leur forme et des caractéristiques de leurs composants (châssis et vitrage). Pour offrir un bon compromis entre pertes thermiques et qualité de l'éclairage naturel, la surface nette éclairante d'un local sera au minimum égale à 20% de la surface au sol du local.

#### → Niveau d'éclairage suffisant

Dans les locaux de classe, un éclairage suffisant est un éclairage qui permet une bonne vision durant les différentes tâches des élèves et qui facilite l'accommodation rapide de l'œil lorsque les élèves passent d'une tâche à une autre.

La norme européenne EN 12464-1 « Lumière et éclairage des lieux de travail - partie 1: Lieux de travail intérieur »<sup>5</sup> préconise un niveau minimal d'éclairage de 300 lux sur le plan de travail dans les salles de classes maternelles, primaires et secondaires alors que cette même norme recommande 500 lux pour des adultes.

La norme européenne EN 15251 recommande également un niveau minimum de 300 lux.

Le tableau ci-dessous repris de la thèse de B. Piderit « Daylighting Design Strategies for visual comfort in classroom » présente les objectifs à atteindre en termes de niveau d'éclairage en fonction de l'activité :

Activité de l'enseignant	Activité de l'élève	Norme d'éclairage	
		Dans la classe	En général
Écrit au tableau noir	Lis au tableau noir	500 lux (vertical)	200 lux
Parle aux enfants	Écoute l'enseignant	300 lux	300 lux
Montre une présentation	Regarde la présentation	300 lux / 10 lux	10 lux
Surveille le travail des enfants	Écrit, dessine, lis sur la surface de son bureau	500 lux	300 lux
Activité informatique	Activité informatique	300 lux	300 lux

4 IESNA Lighting Handbook. Illuminating Engineering Society of North America  
5 Cette norme régleme l'éclairage artificiel.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Autonomie en lumière naturelle

Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60 % (pour un horaire de 8h00 à 18h00).

Une autonomie en lumière du jour de 60 % pour un lieu de travail occupé en semaine de 8 h à 18 h. et un éclairement minimum de 500 lux implique que l'occupant peut en principe se passer d'éclairage artificiel pendant 60% des heures d'occupation.

### → Uniformité d'éclairement

Un éclairement uniforme est nécessaire pour éviter d'incessantes et fatigantes adaptations des yeux et pour garantir une qualité d'éclairage semblable quel que soit l'endroit où se trouve l'élève.

Les niveaux d'éclairement recommandés dans la zone de travail et la zone environnante immédiate sont liés entre eux par l'uniformité définie la norme EN 12464-1 comme suit :

$$\text{dans la zone de travail : } E_{\min} / E_{\text{moy}} > 0,7$$
$$\text{dans la zone environnante immédiate : } E_{\min} / E_{\text{moy}} > 0,5$$

### → Absence d'éblouissement et d'ombres

L'inconfort visuel dans un espace est souvent lié à la présence de contrastes ou d'éblouissements trop importants.

L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans le champ visuel ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës.

Différents types d'éblouissement doivent être considérés dans le cas d'un local de classe :

- L'éblouissement direct, causé par la présence d'une source lumineuse intense dans le champ de vision. C'est le cas par exemple d'une vision directe du soleil à travers une fenêtre
- L'éblouissement indirect provient d'une réflexion perturbatrice des sources lumineuses sur des surfaces brillantes telles que le tableau blanc, une feuille de papier, une table ou un écran d'ordinateur. L'éblouissement indirect se présente sous deux formes: l'éblouissement par réflexion et l'éblouissement par effet de voile

L'éblouissement est classé en deux types selon son degré d'intensité, à savoir l'éblouissement perturbateur (ou d'inconfort) et l'éblouissement aveuglant (ou invalidant).

### 1.2.3.4. Les objectifs pour assurer la qualité de l'air intérieur

Si le taux de ventilation d'un local fortement occupé est insuffisant, l'air y est rapidement vicié par de multiples agents. La respiration est moins active, une fatigue prématurée apparaît, la concentration diminue et le risque de contamination augmente.

Les objectifs pour assurer la qualité de l'air intérieur dans la classe et le confort respiratoire des enfants et des enseignants sont les suivants :

- assurer un renouvellement d'air suffisant de manière à maintenir le taux de CO<sub>2</sub> aux alentours de 1000 ppm<sup>3</sup> (max.1500 ppm<sup>6</sup>);
- éviter toute source d'humidité susceptible d'être à l'origine d'apparition de moisissures ou autres germes pathogènes ;
- éviter de mettre les enfants et les enseignants en présence de matériaux de finition et de second-œuvre susceptibles d'émettre des substances toxiques telles que polluants chimiques, particules fines, Composés Organiques Volatils, fibres...
- éviter de mettre les enfants et les enseignants en présence de mobilier (tables, chaises, rangements...) et d'objets de décoration susceptibles d'émettre des substances toxiques tels que formaldéhyde et autres...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Refurbishment of a school in the town of Schwanenstadt, in Austria. The different comforts were revised upwards. Source: [www.HAUStderZukunft.at](http://www.HAUStderZukunft.at) , Pictures © PAUAT Architekten and Günter Lang





### 1.3. Assurer le confort thermique des enfants et des enseignants à l'école

#### 1.3.1. Les stratégies pour garantir le confort thermique

Différentes mesures dites « passives » permettant d'améliorer la performance énergétique de l'enveloppe sont nécessaires pour assurer un confort thermique des enfants et des enseignants à l'école. Ces mesures passives peuvent être résumées par deux stratégies : la stratégie du chaud et la stratégie du froid.

La notion de confort dans les locaux de classes est également conditionnée par la qualité lumineuse de ceux-ci. Cette qualité lumineuse provient de l'adéquation entre l'activité propre au local et la quantité et la qualité de lumière qui pénètre dans le local.

Lors de la rénovation de bâtiments scolaires, on privilégiera l'utilisation de la lumière naturelle de manière à réduire l'utilisation de l'éclairage artificiel. Pour ce faire, on mettra en place une stratégie de l'éclairage naturel (voir chapitre 4 : Confort visuel).

Dans le cas d'une rénovation – qui reste toujours un cas spécifique – ces différentes mesures passives peuvent être envisagées. Toutes ne seront pas toujours d'application et dépendront en outre du budget, de l'occupation des bâtiments à rénover, du niveau de rénovation et du temps imparti aux travaux de rénovation.

##### 1.3.1.1. La stratégie du chaud

La stratégie du chaud permet d'assurer le confort d'hiver en limitant les besoins de chauffage. C'est un principe bioclimatique regroupant différents concepts complémentaires:

##### → Capturer la chaleur gratuite

Capter la chaleur gratuite signifie travailler sur l'orientation des ouvertures et leurs dimensions. Le principe est d'ouvrir au sud et dans une moindre mesure sur les autres orientations.

##### → Stocker cette chaleur dans l'espace intérieur

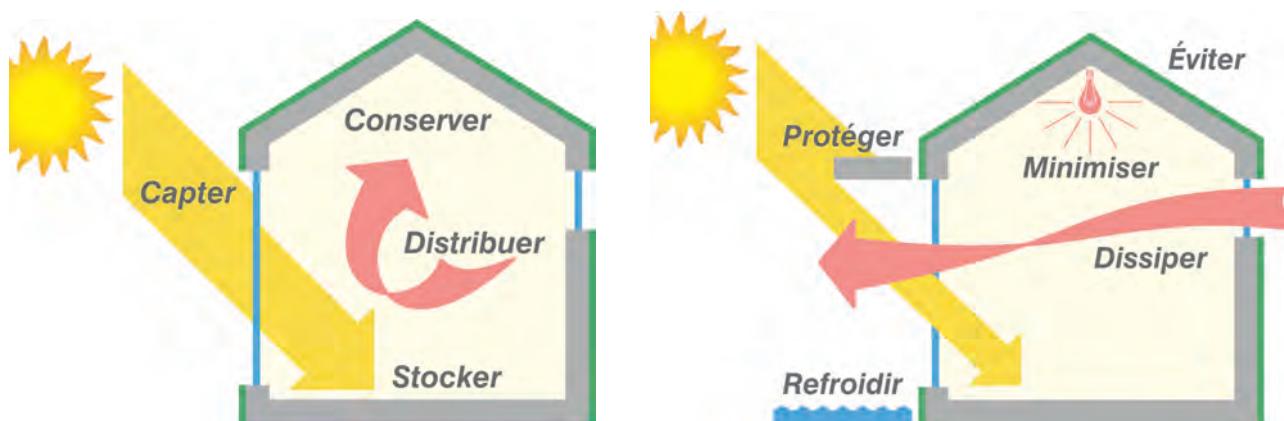
Stocker la chaleur signifie travailler sur l'inertie et l'apport de masse dans l'espace intérieur, tant au niveau des dalles de plancher (sur le sol et étages) que des murs intérieurs. L'inertie - associée à la ventilation - permet en journée d'amortir les pics de température et de parfois – mais pas de manière systématique - limiter les besoins en énergie (chauffage et/ou climatisation).

##### → Conserver la chaleur accumulée, tout en assurant une qualité de l'air intérieur

Conserver la chaleur accumulée signifie d'une part renforcer l'isolation et l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et d'autre part, réduire au maximum les ponts thermiques ou nœuds constructifs.

##### → Distribuer efficacement la chaleur

Distribuer efficacement la chaleur signifie travailler sur l'aménagement intérieur de manière à répartir correctement la chaleur dans l'espace intérieur.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.1.2. La stratégie du froid

La stratégie du froid permet d'assurer le confort d'été en limitant le recours à la climatisation mécanique. C'est un principe bioclimatique regroupant différents concepts complémentaires:

#### → Se protéger des gains solaires

En été, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est peu importante. Les apports solaires sont alors considérés comme thermiquement défavorables. Il faut donc pouvoir s'en protéger c.-à-d. empêcher que ces apports solaires ne pénètrent à l'intérieur du bâtiment en plaçant des protections solaires au niveau des fenêtres exposées (sud, ouest et parfois est). Ces protections solaires peuvent se matérialiser soit par des masques végétaux soit par des éléments constructifs fixes ou mobiles.

#### → Éviter les surchauffes (principalement dans les pays chauds – Italie)

Éviter les surchauffes signifie d'une part renforcer l'isolation des parois de l'enveloppe de manière à limiter les échanges de chaleur entre intérieur et extérieur et d'autre part renforcer l'inertie des espaces intérieurs de manière à amortir les pics de température aux heures les plus chaudes de la journée en absorbant la chaleur excédentaire durant la journée.

#### → Minimiser les gains internes

L'énergie de l'éclairage, des ordinateurs, des ventilateurs, ... se transforme en chaleur dans les locaux. Minimiser les gains internes revient donc à limiter ces sources de chaleur en :

- privilégiant la lumière naturelle (60% du temps si possible) tout en se protégeant des gains solaires ;
- choisissant des appareils d'éclairage performants et économes en énergie ;
- choisissant des appareils de bureautique performants et économe en énergie

#### → Dissiper la chaleur emmagasinée

La dissipation de la chaleur emmagasinée pendant la journée peut se faire en installant une ventilation intensive de nuit. En journée, on peut également dissiper ou limiter l'apport de chaleur en travaillant sur l'aménagement extérieur (apport de végétation à proximité des façades) de façon à rafraîchir et humidifier l'air extérieur autour du bâtiment.

### 1.3.2. Optimiser le volume et la compacité du/ bâtiment(s) existant(s)

*«Privilégier une forte compacité revient, pour un volume habitable fixé, à limiter la surface de déperdition du bâtiment, et donc, d'une part, sa demande en chauffage et d'autre part la quantité de matériaux à mettre en œuvre pour construire son enveloppe. Ces deux points ont une influence directe sur l'impact environnemental du bâtiment et sur son coût.»*

Source: Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, IBGE, Bruxelles, 2007 - [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be)

La rénovation de bâtiments scolaires est l'occasion de repenser le fonctionnement de l'école de manière générale, tant au niveau de la répartition des locaux, de leur occupation ou de leur aménagement intérieur. Cette réflexion peut être une opportunité pour repenser le volume et la compacité du bâtiment mais aussi l'orientation ou l'ensoleillement de certains locaux en fonction de leur utilisation ou occupation.

#### 1.3.2.1. Optimiser le volume

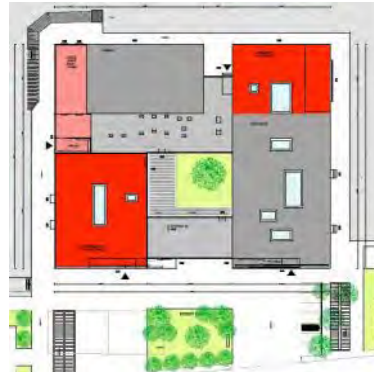
Optimiser le volume d'un bâtiment existant consiste à travailler la compacité de celui-ci c.-à-d. limiter au maximum la surface des parois extérieures. En rénovation, la compacité d'un bâtiment peut être améliorée en augmentant le volume du bâtiment par l'ajout d'un étage, en réduisant les décrochements ou creusements dans le volume et/ou en favorisant la mitoyenneté.

Ce principe d'optimisation du volume a été appliqué dans **la rénovation d'une école dans la ville de Schwanenstadt en Autriche par les architectes Heinz PLÖDERL et PAUAT Architekten**. L'ajout de deux volumes a non seulement permis une extension importante des surfaces utilisables (de 4140 m<sup>2</sup> à 6214 m<sup>2</sup>) mais a sensiblement amélioré la compacité du bâtiment existant tout en enrichissant de manière significative la qualité des espaces intérieurs (circulation et éclairage)

La compacité d'un bâtiment se justifie également d'un point de vue économique: moins de matériaux utilisés, forme simple entraînant de moindres coûts de construction (ou rénovation) et de maintenance. L'optimisation de la compacité d'un bâtiment doit cependant être pondérée par la nécessité de bénéficier d'une surface de captage au sud suffisamment importante.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Rénovation d'une école dans la ville de Schwanenstadt, in Autriche. Objectif: augmenter la compacité et l'isolation grâce à des façades préfabriquées.  
Source: [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at), Images © PAUAT Architekten and Günter Lang

### 1.3.2.2. Répartition des différentes fonctions selon l'orientation

Dans le cas d'une rénovation lourde de bâtiments scolaires, une nouvelle répartition des fonctions et des locaux de l'école peut être envisagée. Cette répartition sera réfléchi d'une part en fonction des flux de circulation générés par les élèves lors des changements de locaux et allées/venues principales et d'autre part en fonction de l'orientation et de l'implantation du bâtiment par rapport à l'environnement extérieur

Pour les locaux de classes on favorisera:

- une orientation nord (compensée par des couleurs de surface plus chaudes) ou sud<sup>1</sup> (compensée par des protections solaires) afin de garantir un éclairage régulier et confortable ;
- une vue vers des espaces verts ou espaces collectifs de l'école, souvent moins bruyant que les espaces extérieurs environnants.

Pour les autres locaux tels que hall d'accueil, circulations, locaux de détente où l'uniformité de l'éclairage n'est pas une priorité, on favorisera :

- une orientation est, sud ou ouest (compensée par des protections solaires) ;
- une vue ou une façade tournée vers l'environnement extérieur, urbain ou rural, de manière à faire participer l'école à la vie de quartier

Ce principe de répartition des locaux a été mis en place dans **le projet de rénovation de l'école Riva-Bella à Braine l'Alleud, en Belgique par le bureau d'architecture « aa-ar » (Alain Richard)**. Il s'agit ici d'une rénovation lourde d'un bâtiment qui n'était plus utilisé depuis plusieurs années.

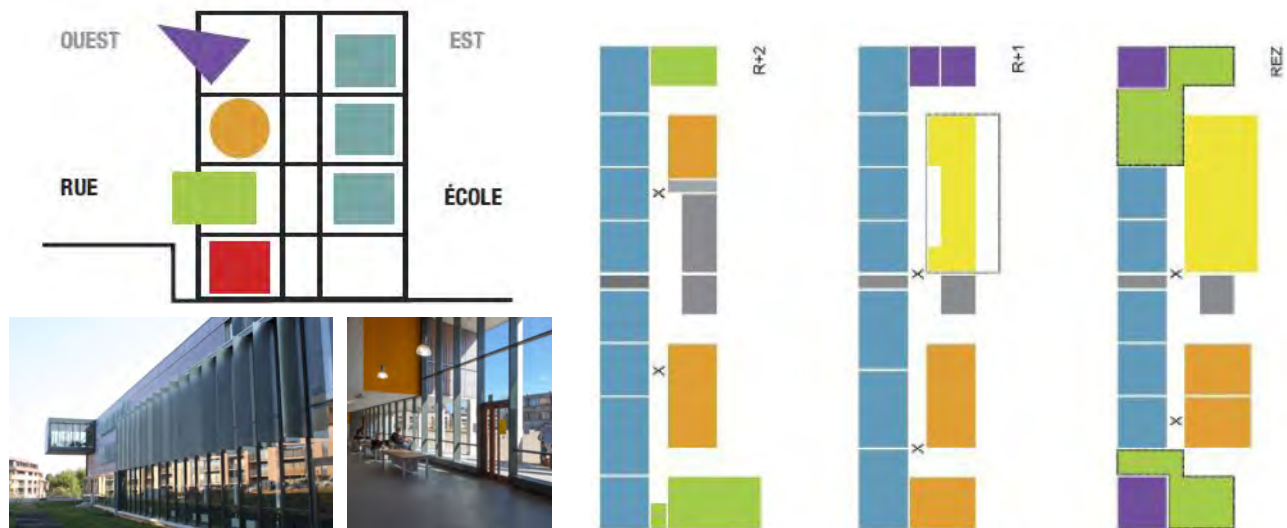
La répartition de l'ensemble des locaux a été complètement revue :

- toutes les classes sont orientées à l'est. Elles reçoivent généreusement la lumière naturelle et s'ouvrent ouverts sur le campus et sur les autres bâtiments avec lesquels ils interagissent.
- les autres espaces et locaux sont orientés à l'ouest, vers la ville.
- chaque fonction est située dans un espace spécifique, en fonction de sa morphologie, de sa taille, de ses dimensions, des ouvertures, des connexions, des vues et de sa relation à l'espace extérieur et à l'espace public.

<sup>1</sup> L'orientation « est » peut également être intéressante pour les pays d'Europe centrale mais doit être accompagnée de protection solaire, principalement pour atténuer ou réduire l'inconfort visuel et l'éblouissement générés par un rayonnement solaire bas.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Refurbishment project for the Riva-Bella school at Braine l'Alleud, in Belgium. Source: J.Ph. Possoz, aa-ar (Alain Richard) architecture office

### 1.3.3. Optimiser l'enveloppe d'un bâtiment existant

La rénovation durable de bâtiments scolaires passe de manière quasi obligatoire par l'optimisation de l'enveloppe du ou des bâtiments, tant d'un point de vue énergétique que d'un point de vue du confort thermique, visuel ou acoustique. L'enveloppe d'un bâtiment n'est pas seulement la frontière entre l'extérieur et l'espace de vie ou de travail ; elle est également une protection contre le climat extérieur changeant et parfois inconfortable (vent, neige, pluie,...) qui permet de conserver un climat intérieur confortable.

Pour être énergétiquement performante, l'enveloppe extérieure doit pouvoir jouer un rôle de filtre en :

- profitant d'éléments extérieurs favorables, en travaillant sur l'orientation, l'implantation, la disposition des espaces et la participation du végétal ;
- en protégeant l'espace intérieur qu'elle abrite contre les éléments défavorables (vent, froid et gel, pluie,...)

Cela signifie en termes de confort et d'économie d'énergie :

- en hiver, réduire les besoins de chauffage
- en été, éviter les surchauffes et le recours à la climatisation
- en mi saison, permettre une certaine autonomie

Mais en plus de sa performance thermique, l'enveloppe extérieure doit également permettre un confort visuel (vues, quantité et qualité de lumière naturelle) et acoustique (barrière contre les nuisances de bruit extérieur). Ces deux aspects seront repris aux chapitres 4 et 5 de cette partie.

Rénover durablement des bâtiments scolaires signifie, au niveau des performances énergétiques de l'enveloppe, de tendre vers le standard « passivhaus » même si celui-ci ne sera pas toujours atteint et ce, pour diverses raisons (temps, planning, budget, motivation...). De manière générale, en climat tempéré, la rénovation de l'enveloppe extérieure devra répondre aux exigences suivantes :

- pour la période froide, on va favoriser les apports de chaleur gratuite et diminuer les pertes thermiques tout en permettant un renouvellement d'air suffisant ;
- pour la période chaude, on va diminuer les apports de chaleur et favoriser le rafraîchissement ;
- pour la mi-saison, l'enveloppe doit pouvoir s'adapter aux besoins par une combinaison des exigences citées aux deux premiers alinéas

**Pour ce faire et dans la mesure du possible, les règles suivantes doivent être respectées :**

- Remplacer les vitrages et châssis défectueux ou peu performants ;
- Réétudier et redimensionner les ouvertures et/ou les parties vitrées de l'enveloppe en fonction de l'orientation;
- Renforcer l'isolation et l'étanchéité à l'air des parois extérieures (partie pleine de l'enveloppe : murs, dalle de sol et toiture) et ceci de la manière la plus continue possible ;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



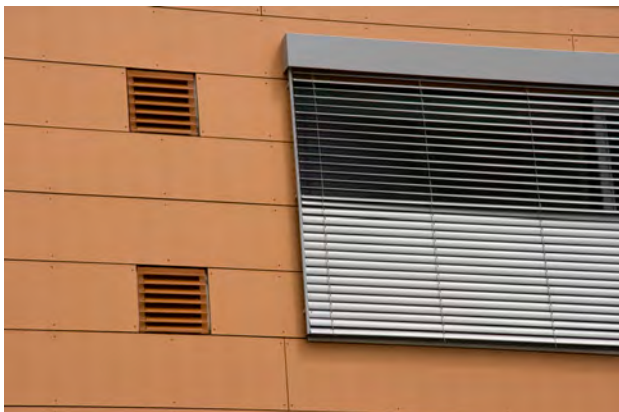
- **Protéger efficacement les ouvertures au sud, à l'est et à l'ouest contre les gains solaires et l'éblouissement**, sans réduire l'apport de lumière naturelle ;
- **Renforcer si possible l'inertie dans les dalles de sol et de planchers (étages) et dans les murs intérieurs.**

### 1.3.3.1. Pérennité des matériaux de l'enveloppe

Une rénovation de bâtiments scolaires qui a comme objectif l'efficacité énergétique du bâtiment, doit d'une part améliorer et optimiser les performances de l'enveloppe (isolation, étanchéité à l'air,...), réduire ses points faibles (ponts thermiques, étanchéité à l'air,...) et d'autre part, tenir compte de la pérennité des matériaux et des composants mis en œuvre.

*«... des tests de vieillissement sont bien réalisés en laboratoire pour estimer la durabilité des matériaux, mais il est beaucoup plus complexe de s'engager sur la durabilité de leurs performances une fois ceux-ci mis en œuvre dans les conditions réelles de chantier, et soumis aux aléas de l'utilisation des lieux.»* Source: "La conception Bioclimatique" S. Courgey and J.P. Oliva

Il est important lors du choix des matériaux de construction de s'assurer que ceux-ci garderont leur performance à long terme après leur mise en œuvre. Dans le cas d'une rénovation de bâtiments scolaires, le concepteur privilégiera des matériaux demandant peu d'entretien et de maintenance, résistants aux chocs et à l'usure et ayant une durée de vie importante.



Source: [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at)



© Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen

### 1.3.3.2. Qualité de la mise en oeuvre



*«Le choix des matériaux et des techniques constructives n'est pas seulement conditionné par leurs performances techniques et environnementales, mais également par la possibilité d'une mise en œuvre adéquate. En effet une pose inadaptée ou peu soignée peut ruiner la majorité des effets attendus de certains matériaux ou dispositifs constructifs, créer des désordres dommageables dans le bâtiment, voire nuire à sa pérennité.»* Source: "La conception Bioclimatique" S. Courgey and J.P. Oliva

Les malfaçons ou les défauts de mise en œuvre qui influencent la performance énergétique de l'enveloppe concernent essentiellement les étanchéités à l'eau, les étanchéités à l'air, les discontinuités de l'isolation. On estime que dans un bâtiment performant, les pertes dues aux malfaçons peuvent entraîner des surconsommations de l'ordre de 35%.

Il est donc indispensable de prendre des mesures quant à la qualité et le soin de la mise en œuvre, notamment:

- une meilleure formation des différents intervenants sur les matériaux à mettre en œuvre, leur performance et les interactions qu'ils entretiennent avec d'autres composants ;
- un contrôle régulier de la qualité du travail effectué;
- un planning et une rémunération adéquats pour une mise en œuvre soignée (argent et temps = qualité)

Mais le soin apporté à la mise en œuvre ne doit pas se limiter à la pose des différents matériaux et composants. Les interventions ultérieures d'autres corps de métier (plomberie, électricité,...) qui vont toucher de près ou de loin les matériaux composant les différentes parois du ou des bâtiments scolaires sont également concernées.

Il faut donc que chaque intervenant du processus de construction et de rénovation tienne compte et respecte le travail des autres intervenants et se responsabilise par rapport à la qualité exigée.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.3.3. Entretien et maintenance

Si la qualité des matériaux utilisés et la qualité de la mise en œuvre sont des paramètres importants en ce qui concerne la performance énergétique de l'enveloppe, l'entretien et la maintenance de l'isolation, de l'étanchéité et des matériaux de parement sont gage de durabilité de cette performance dans le temps. En effet, il est essentiel que l'enveloppe du bâtiment et ses différents composants soient en mesure de conserver, sur une durée de temps plus ou moins longue, la performance énergétique pour lequel elle a été rénovée. Par entretien ou maintenance, on entend une série d'actions, qu'elles soient quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles ou annuelles, qui permettent aux matériaux mis en œuvre de remplir leur fonction de manière optimale.

*Exemples:*

- le nettoyage des vitrages a un impact sur le confort visuel
- l'entretien régulier des châssis en bois a un impact sur la longévité de ceux-ci
- la vérification et l'entretien des toitures plates avant et durant l'hiver

L'occupant doit donc être responsabilisé à la fois sur l'obligation de maintenir en état son espace de vie ou de travail ainsi que les éléments qui le compose et sur l'obligation d'un remplacement éventuel après un certain nombre d'année. Cette prise de responsabilité peut être facilitée par la remise d'un guide à la bonne utilisation et gestion du bâtiment par le concepteur et ses conseillers.

### 1.3.4. Isoler l'enveloppe des bâtiments scolaires

#### 1.3.4.1. Notions de base

La couche isolante d'un bâtiment empêche la chaleur de s'échapper des ambiances intérieures en hiver et empêche la chaleur extérieure d'envahir ces mêmes ambiances intérieures en été ou en mi saison. Le rôle de l'isolant est de créer une barrière entre l'intérieur et l'extérieur au moyen de matériaux ayant une capacité de conduction la plus faible possible, de manière à réduire fortement les déperditions thermiques.

Les déperditions thermiques sont définies comme une perte de chaleur que subit un bâtiment à travers ses parois et/ou ses échanges de fluide avec l'extérieur. Elles sont d'autant plus importantes que l'isolation thermique du bâtiment est faible. Ces déperditions thermiques sont de trois types :

#### → Les déperditions surfaciques

Ce sont les déperditions à travers les parois, qu'elles soient opaques (murs, toitures,...) ou vitrées. Les déperditions surfaciques représentent jusqu'à 60% de la totalité des déperditions d'un bâtiment non isolé

#### → Les déperditions par ponts thermiques

Les ponts thermiques sont des défauts de mise en œuvre de l'isolation qui se situent souvent à la jonction entre deux parois ou deux éléments distincts. Selon les techniques constructives et les systèmes d'isolation mis en œuvre, ces déperditions varient entre 5 et 25% de la totalité des déperditions.

#### → Les déperditions par renouvellement d'air

Ce sont les déperditions liées au système de ventilation hygiénique du bâtiment (s'il existe) mais également aux infiltrations d'air non souhaitées et non contrôlées via les menuiseries extérieures (portes et châssis), les conduits de cheminées,...

**Isoler l'enveloppe d'un bâtiment en rénovation signifie donc :**

- Limiter les déperditions de surface par l'ajout d'une couche isolante continue
- Limiter les déperditions par ponts thermique (voir point 1.3.5.)
- Limiter les déperditions par renouvellement d'air (voir point 1.3.6)

La propagation de la chaleur au travers d'une paroi qui sépare deux ambiances différentes (intérieur et extérieur) et l'isolation d'une paroi peuvent être définies au moyen de plusieurs paramètres :

#### → La conductivité thermique : coefficient $\lambda$

La conductivité thermique  $\lambda$  d'un matériau est «le flux de chaleur» qui traverse 1m<sup>2</sup> de paroi de 1m d'épaisseur, lorsque la différence de température entre deux faces de cette paroi est de 1°K.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Elle est mesurée par le coefficient  $\lambda$ ; plus  $\lambda$  est grand, plus le matériau est conducteur et transmet de la chaleur, plus  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant. La conductivité thermique est exprimée en W/m.K

### → La résistance thermique : coefficient R

Le flux de chaleur traversant une paroi dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique  $\lambda$ . La résistance thermique R est le rapport entre l'épaisseur et la conductivité thermique  $\lambda$  ( $R = e / \lambda$ ). Plus la résistance thermique R est grande, plus le matériau est isolant.

Généralement, une paroi est constituée de plusieurs matériaux dont l'épaisseur et la conductivité thermique sont différentes; dans ce cas, on additionne les coefficients R de chaque couche. La résistance thermique R est exprimée en m<sup>2</sup>K/W.

### → La transmission thermique : coefficient U

Pour caractériser les performances d'une paroi, on utilise généralement le coefficient U qui est le coefficient de transmission thermique. Ce coefficient est inversement proportionnel à la résistance thermique ( $U = 1/R$ ) et s'exprime en W/m<sup>2</sup>K

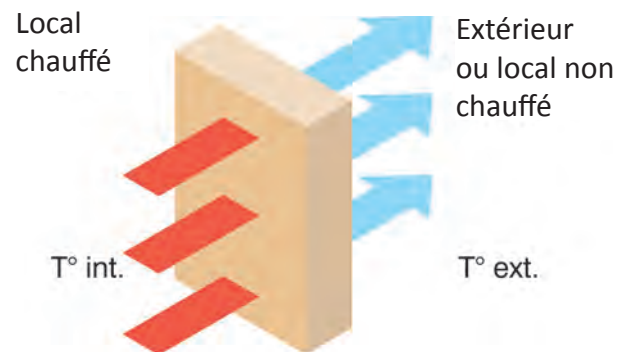


«The worst heat conductor is a "void" or empty space, which allows radiant exchanges only (1).

However, "empty space" is actually filled with air, and the hot surface of the air wave exchanges its calories with the cold surface [of the wall] by convection (2).

If the air is to conserve its insulating properties, it must be motionless, which is achieved by enclosing it in the smallest possible alveoli (3)»

Source : Isolation écologique, JP Oliva,



Améliorer ou optimiser l'isolation d'un bâtiment implique de considérer également d'autres paramètres tels que:

### → Les éventuels ponts thermiques

Isoler un bâtiment existant, si le principe de continuité n'est pas respecté, peut créer ou renforcer des ponts thermiques existants. Ceux-ci peuvent entraîner :

- des déperditions de chaleur proportionnellement très importantes par rapport aux déperditions totales ;
- des condensations en surface lorsque la température de celle-ci descend en dessous du point de rosée de l'air ambiant. L'humidité ainsi créée de la paroi permet le développement de moisissures. Celles-ci, outre leur aspect désagréable, dégagent des substances pouvant être odorantes et pouvant provoquer chez certaines personnes des phénomènes d'allergie ;
- Lorsque les quantités d'eau condensées sont importantes et ne peuvent être éliminées, elles pénètrent les matériaux de finition et de parachèvement, provoquant ainsi leur détérioration. Si la condensation et l'humidité sont permanentes, toute l'épaisseur de la paroi peut être fortement humide. La structure porteuse de la construction peut être touchée et se dégrader.

### → L'étanchéité à l'air

L'amélioration ou l'optimisation de l'isolation d'un bâtiment existant doit se faire parallèlement à l'amélioration de l'étanchéité à l'air de manière à limiter les déperditions par renouvellement d'air.

Une mauvaise étanchéité à l'air des bâtiments est source de courants d'air, provoque une sensation d'inconfort thermique et engendre un affaiblissement de l'isolation acoustique, ce qui peut poser problème dans certaines zones urbaines.

L'impact de l'inétanchéité à l'air d'un bâtiment est d'autant plus important que celui-ci est bien isolé. En effet, la part des pertes dues à la ventilation dans le total des déperditions y est alors beaucoup plus importante.

### → L'inertie thermique

L'amélioration ou l'optimisation de l'isolation d'un bâtiment existant doit être accompagnée d'une réflexion sur l'inertie thermique de l'espace intérieur. En effet, une isolation par l'intérieur peut limiter ou réduire fortement la capacité de stockage de la chaleur des espaces intérieurs.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → La qualité de l'air intérieur

L'amélioration ou l'optimisation de l'isolation d'un bâtiment existant doit être accompagnée d'une réflexion sur la ventilation de celui-ci. En effet, un bâtiment isolé et étanche à l'air, s'il n'est pas équipé d'un système de ventilation efficace, sera propice au confinement et à la concentration de polluants, au développement potentiel de bactéries et de champignons et ainsi responsable d'une mauvaise qualité de l'air. Cette mauvaise qualité de l'air aura une influence d'une part sur la santé des enfants et des enseignants mais également sur les capacités d'apprentissage des enfants.

Ceci est important dans la mesure où la grande majorité des européens passent plus de 85% de leur temps dans des environnements « clos » dans lesquels ils sont exposés à de multiples polluants, chimiques ou physiques.

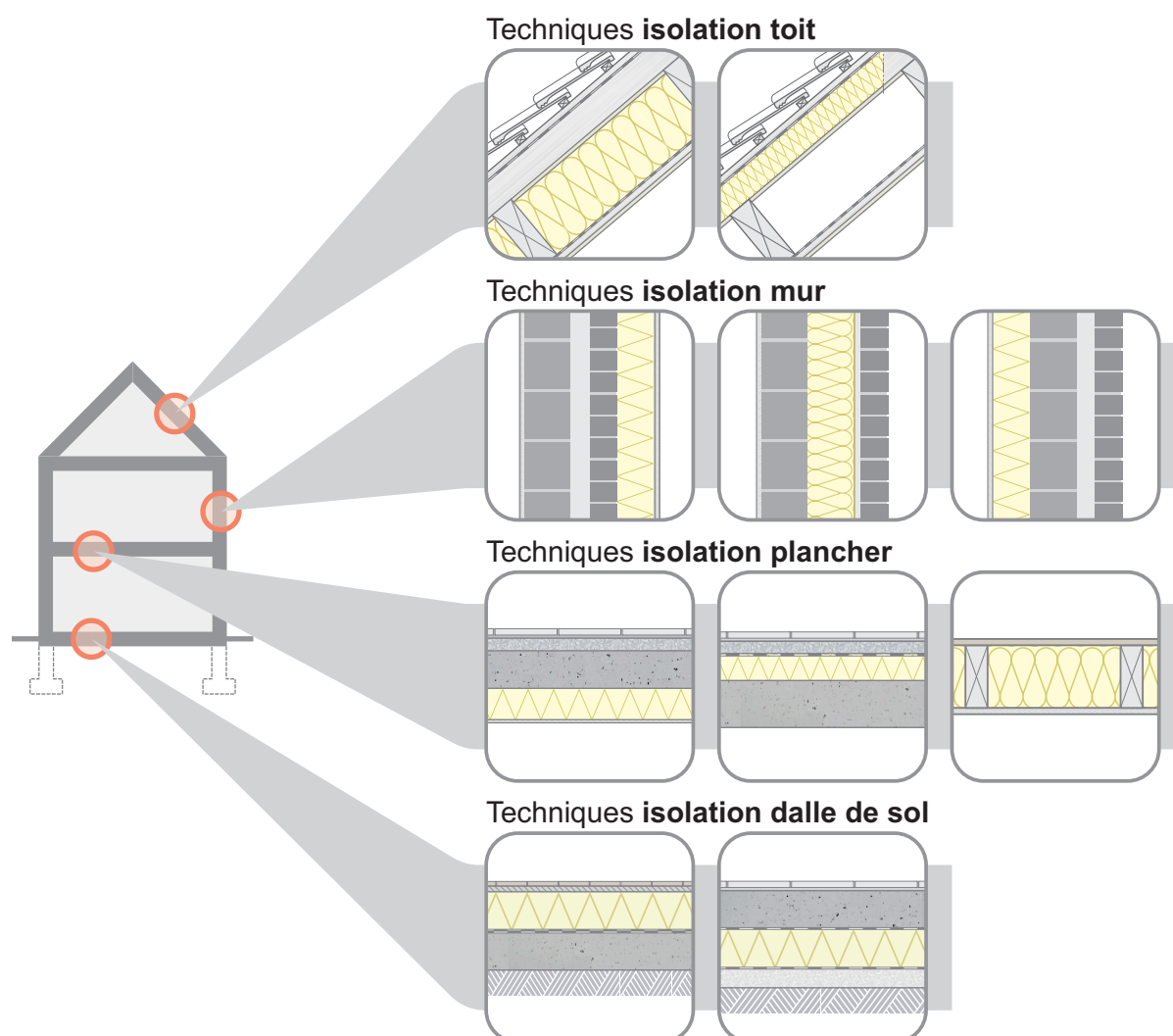
### 1.3.4.2. Techniques et matériaux d'isolation

En rénovation, lorsqu'on isole un ou des bâtiments scolaires, on veillera d'une part, à isoler les parois extérieures de ceux-ci (sol, murs, fenêtres, toitures) et d'autre part, à isoler les parois entre les volumes chauffés et les volumes non chauffés (murs, portes,...).

Selon le type de parois à isoler, il existe différentes techniques d'isolation. Ces différentes techniques sont reprises sous forme de schéma ci-après.

Nous n'aborderons ici que le choix de la technique d'isolation pour les murs de façades.

Le choix de la technique d'isolation en rénovation est complexe. C'est souvent un compromis entre différents paramètres : les performances à atteindre (énergie, étanchéité à l'eau...), l'esthétique souhaitée, les contraintes urbanistiques, la complexité des façades (façade plan, façade découpée...), l'espace disponible à l'intérieur des locaux, la facilité et le temps d'exécution, le prix...





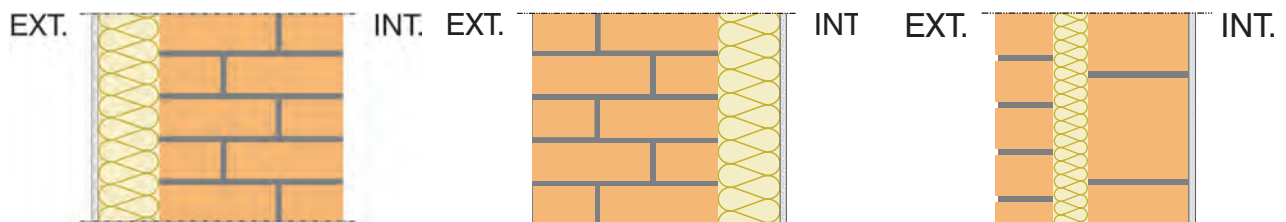
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Il est important d'analyser correctement l'ampleur des travaux à réaliser. Les contraintes liées à l'une ou l'autre technique sont différentes et peuvent entraîner des modifications plus ou moins importantes et onéreuses. Il existe principalement 3 techniques d'isolation. Ces trois techniques peuvent être utilisées sur un même chantier de rénovation en fonction des contraintes existantes :

- isolation par l'extérieur ;
- isolation par l'intérieur ;
- isolation par remplissage de la lame d'air dans le cas d'un mur creux.



### → Technique d'isolation par l'extérieur

Cette technique d'isolation permet d'éviter les ponts thermiques et les effets de la condensation grâce à une continuité d'isolation. Cette technique permet également de conserver l'inertie thermique du bâtiment existant et de protéger le gros-œuvre ou la structure du bâtiment contre les intempéries.

L'isolation par l'extérieur modifie par contre l'aspect extérieur du bâtiment.

*Exemple :*

*De par son épaisseur, l'isolant posé à l'extérieur fait apparaître les châssis plus enfoncés dans la façade. De même, suivant la pose au niveau du linteau et du retour de baie, la hauteur du dormant du châssis peut paraître moins importante.*

Une demande de permis d'urbanisme est donc souvent nécessaire. Par contre, si le revêtement extérieur est vétuste, ce système permet d'améliorer l'aspect extérieur.

L'isolant doit être protégé par un nouveau parement : enduit synthétique ou minéral, bardage, parement en briques ou éléments préfabriqués.

Cette technique n'est pas toujours applicable, notamment lorsque les bâtiments sont à front de rue ou lorsque les façades doivent conserver leur aspect d'origine (bâtiment classé ou sur liste de classement).



© Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen



© Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Technique d'isolation par l'intérieur

L'isolation par l'intérieur doit être envisagée lorsqu'il n'est pas possible d'isoler par l'extérieur, notamment lorsque l'aspect extérieur de la façade doit être conservé (cas de bâtiment ou façade classée, façade à front de rue...).

Si l'isolation par l'extérieur permet de limiter les ponts thermiques, le fait d'isoler par l'intérieur peut, au contraire, en créer ou les renforcer. Les endroits sensibles tels que les jonctions entre les murs extérieurs et les murs de refend ou les planchers, ainsi que les encadrements de baies, devront faire l'objet d'une attention particulière du point de vue des flux de chaleur, d'humidité et d'air. Il est indispensable de vérifier, avant tout travaux d'isolation par l'intérieur, que :

- le mur de parement extérieur est en bon état et capable de supporter les intempéries ;
- le mur porteur intérieur est sec et protégé des infiltrations;
- la disposition interne des châssis par rapport aux baies, du sol par rapport au mur interne, ..., permet de maîtriser les ponts thermiques;
- le climat interne est normal en terme de température et d'humidité;
- l'inertie des murs, cloisons et planchers intérieurs est suffisante.

Le choix du système d'isolation s'effectuera suivant l'espace disponible dans les locaux et surtout en fonction de l'état des murs internes :

- lorsque la face interne du mur est suffisamment plane l'isolant peut être collé directement;
- dans le cas contraire, l'isolant est placé sur un lattage, entre ce lattage (risque de pont thermique) ou encore derrière une contre-cloison maçonnée (apport d'inertie).



© Isofloc



© Ursa, Grupo Uralita



© Xella, Multipor

Le choix de la technique utilisée pour la mise en œuvre de l'isolant aura une influence sur son démontage futur (remplacement ou élimination), sur son potentiel de recyclage. Un isolant collé pourra difficilement être désolidarisé de son support alors qu'un isolant en vrac ou fixé mécaniquement pourra être désolidarisé de son support sans difficulté, être récupéré ou recyclé facilement

### Risque de condensation

En posant la couche isolante sur la face intérieure de la paroi, on crée une barrière entre la paroi et l'ambiance intérieure qui empêche la paroi de se réchauffer. De ce fait, on déplace le point de rosée (qui est à l'origine de condensation) vers l'intérieur.

La pose de l'isolant s'accompagne donc d'un pare-vapeur (très étanche à la vapeur d'eau) ou d'un freine-vapeur (moins étanche à la vapeur d'eau). Celui se place entre l'isolant et l'ambiance intérieure et empêche que la vapeur d'eau condense entre le mur et l'isolant.

*Le choix d'un freine-vapeur, plus ouvert au passage de la vapeur, permet souvent de se prémunir du risque de condensation interne en été ou au printemps, ou quand la pression de vapeur est plus importante à l'extérieur qu'à l'intérieur. D'autres membranes, dites intelligentes, sont encore plus adaptées. En effet, leur perméabilité à la vapeur évolue avec l'humidité relative. Elles sont conçues pour être relativement fermées à la vapeur quand l'humidité relative est faible et pour s'ouvrir au passage de la vapeur quand l'humidité relative est plus élevée.*

Il est important de signaler ici que certains matériaux dits « hygroscopiques » (bois, dérivés bois, terre crue, cellulose...) ont le pouvoir de réguler l'humidité de l'ambiance intérieure en captant l'humidité en excès pour la restituer plus tard, atténuant ainsi les effets désagréables d'ambiances trop sèches ou trop humides.

Le pare-vapeur ou freine-vapeur, permet non seulement la régulation de la vapeur mais aussi de bloquer le passage de l'air et donc d'éviter le risque de condensation par convection, pour autant bien sûr que la mise en œuvre soit d'une

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



qualité irréprochable.

Les principes à respecter pour la pose de l'isolant sont les suivants :

- l'isolant doit être posé de manière continue, en particulier aux angles des parois, afin de ne pas créer de pont thermique et d'éviter ainsi la condensation superficielle.
- le pare-vapeur doit également être posé de manière continue, les raccords doivent être rendus étanches.
- il faut prévoir une finition intérieure étanche à l'air sur toute la surface.

De manière à éviter la condensation interne par convection, il faut fermer toutes les ouvertures qui permettraient à l'air intérieur de circuler derrière la couche isolante. Les points délicats sont la jonction entre mur et plafond, la jonction entre mur et plancher, la jonction avec les baies et les percements pour le passage des gaines et canalisations diverses, incorporations des boîtiers, etc.

N'oublions pas que l'isolation par l'intérieur diminue l'espace intérieur disponible et nécessite souvent le déplacement d'appareils électriques, sanitaires et/ou de chauffage, si ceux-ci sont placés sur les murs de façade.

### → Technique d'isolation par remplissage de la coulisse

Lors de la rénovation de certains types de bâtiment, la technique d'isolation par remplissage de la coulisse peut être envisagée. Cependant cette technique d'isolation a des limites. On évitera cette technique d'isolation dans les cas suivants :

- lorsque le niveau d'isolation thermique souhaité ne peut pas être atteint à cause de l'épaisseur insuffisante de la coulisse.
- lorsque la surface extérieure du mur est imperméable à la vapeur d'eau. En effet, lorsqu'on isole dans la coulisse, l'eau présente dans le parement provenant des infiltrations des pluies et/ou de la condensation interstitielle, doit pouvoir être évacuée par le séchage du parement, qui, à cause de la présence de l'isolant, n'est plus possible que par la face extérieure.
- lorsque la maçonnerie de parement est gélive. Soit, elle présente des briques effritées et/ou des joints expulsés, soit le test d'un échantillon en laboratoire a montré qu'elle serait incapable de résister aux contraintes provoquées par le remplissage de la coulisse. En effet, lorsqu'on place une isolation dans la coulisse, le mur de parement subit moins les influences de la température intérieure. Il sera plus froid en hiver et plus chaud en été. Le mur de parement subit des variations de température plus grandes et plus fréquentes; les contraintes thermiques sont plus importantes.
- lorsque la façade comporte des ponts thermiques importants ne pouvant être corrigés.
- lorsque la paroi intérieure n'est pas étanche à l'air (maçonnerie non enduite).
- lorsque les barrières d'étanchéité sont absentes ou inefficaces.



© Isover



© Isowit



© Ecobati

Avant d'entamer les travaux d'isolation, un examen préalable de la coulisse est nécessaire. Celui-ci permettra de vérifier l'état et la qualité du mur creux. Cet examen est facilement réalisable, sans démontage du mur, au moyen d'un appareil spécialisé tel que l'endoscope.

Les points suivants seront vérifiés et contrôlés :

- la possibilité de traiter les ponts thermiques au droit des linteaux, des retours de baies, des planchers, des pieds de mur, de la corniche, etc.
- l'absence de gravats, de déchets et autres matériaux dans la coulisse.
- la disposition correcte des crochets entre les deux parois du mur.
- l'existence des membranes d'étanchéité correctement disposées.
- la présence d'ouvertures de drainage de la coulisse disposées juste au-dessus des membranes d'étanchéité.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

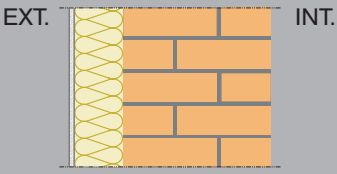
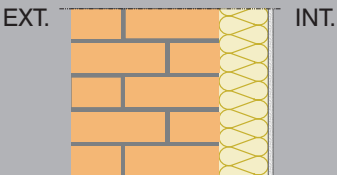
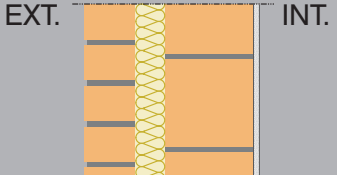


Il existe différents moyens et matériaux isolants pour remplir la coulisse. On choisit, en général, le système qui consiste à insuffler un isolant en vrac. La technique d'injection de mousse est actuellement peu pratiquée. Elle nécessite un contrôle précis du remplissage et de l'expansion de la mousse pour éviter une déformation du parement suite à la pression provoquée.

Le recours à un système d'isolation bénéficiant d'un agrément technique est vivement conseillé.

Le matériau isolant doit ne pas être capillaire ni hydrophile (il ne peut absorber ni retenir l'eau), être suffisamment perméable à la vapeur d'eau et avoir une consistance suffisante pour ne pas s'affaisser.

### → Comparatif des techniques d'isolation

Système d'isolation	Avantages	Désavantages
<b>Isolation par l'extérieur</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuité de l'isolant : supprime les risques de ponts thermiques locaux</li> <li>• Amélioration de l'étanchéité de la façade</li> <li>• Protection contre le gel, la fissuration et la pénétration de la pluie battante</li> <li>• Améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé ou peu homogène</li> <li>• Masse thermique et finitions intérieures préservées</li> <li>• Pas de perte de surface habitable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modification de l'aspect extérieur nécessite d'introduire un permis d'urbanisme dans la plupart des cas</li> <li>• Retours de baies à isoler, seuils à remplacer, etc. (diminution de la surface vitrée)</li> <li>• Déplacement/remplacement/adaptation des descentes d'eau, gouttières, chéneaux, etc.</li> <li>• Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée</li> <li>• Coût élevé, nouveau parement nécessaire</li> </ul>
<b>Isolation par l'intérieur</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspect extérieur maintenu</li> <li>• Réalisation sans échafaudages</li> <li>• Grande diversité de choix au niveau des isolants</li> <li>• Chantier à l'abri des intempéries</li> <li>• Réalisation possible pièce par pièce</li> <li>• Coût moins important</li> <li>• Pas de permis d'urbanisme à introduire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des surfaces habitables</li> <li>• Finitions intérieures et certaines installations à déplacer ou remplacer</li> <li>• Augmentation des sollicitations hygrothermiques dans le mur : risque de condensation interne, de gel, d'efflorescences de sels...</li> <li>• Ponts thermiques difficiles à résoudre, risque de condensation et de moisissures</li> <li>• Diminution de l'inertie thermique : risque de surchauffe</li> </ul>
<b>Cavity wall insulation</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finitions intérieures et extérieures conservées</li> <li>• Pas d'encombrement</li> <li>• Masse thermique préservée</li> <li>• Technique simple</li> <li>• Coût moins important</li> <li>• Pas de permis d'urbanisme à introduire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution possible que si la coulisse est suffisamment large (min. 4 cm) et régulière : endoscopie indispensable</li> <li>• Pas applicable si parement peint ou émaillé : empêche l'évacuation de la vapeur d'eau</li> <li>• Épaisseur d'isolation limitée</li> <li>• Risque d'accentuation des ponts thermiques aux interruptions de la coulisse</li> <li>• Refroidissement du mur de parement, potentiel de séchage réduit, risque de gel</li> </ul>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Matériaux d'isolation

Les matériaux isolants sont aujourd'hui devenus des matériaux incontournables dans la construction et la rénovation de bâtiments. En raison des enjeux climatiques et de l'accroissement des exigences énergétiques, ce marché est en pleine expansion.

Les isolants en laines minérales et les isolants en mousses synthétiques dominent le marché, mais les isolants dits « naturels » ou « écologiques » prennent chaque année de l'importance sur le marché des matériaux de construction. En effet, au cours de ces vingt dernières années, les isolants issus de matières naturelles et renouvelables, tels que les matières végétales ou animales, ont été redécouverts et sont de plus en plus souvent utilisés.

On pousse également la recherche sur des matériaux isolants innovants, minces mais très efficaces. Cette recherche est sans nul doute influencée par l'augmentation successive des épaisseurs d'isolants dans les différentes parois du bâtiment.

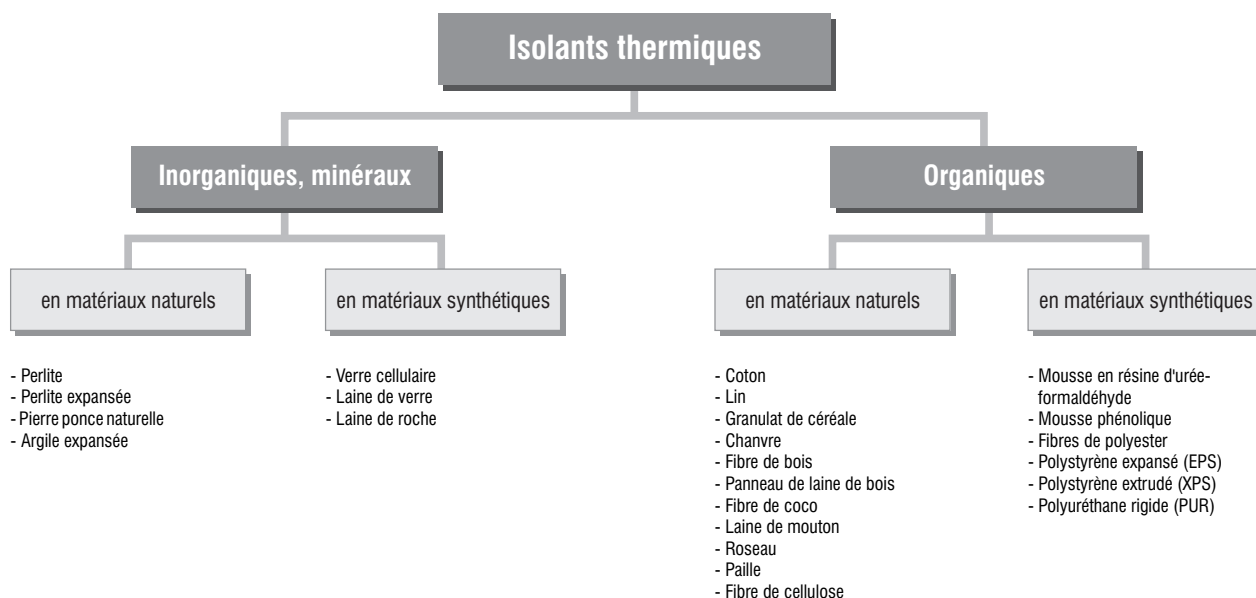
**Un matériau est dit « isolant » lorsque son coefficient de conductivité thermique à l'état sec est inférieur ou égal à 0.07 W/mK.**

Dans les bâtiments construits, les isolants sont en règle générale « invisibles », cachés derrière un parement et/ou dans une coulisse lorsqu'ils sont placés à l'extérieur de l'enveloppe ou encore derrière une plaque de second-œuvre quand ils sont placés à l'intérieur de l'enveloppe. Ces matériaux assurent un ensemble de tâches et de fonctions : la garantie d'un climat intérieur agréable et sain, la réduction des déperditions par transmission et ventilation, une protection contre la chaleur en été, une protection contre le froid et le gel en hiver, une protection acoustique (en fonction du type d'isolant choisi), une protection contre l'incendie (en fonction du type d'isolant choisi),...

La qualité d'une enveloppe thermiquement bien isolée repose sur les propriétés thermiques des matériaux et des éléments qui la composent ainsi que sur leur dimensionnement et leur mise en œuvre.

Les matériaux isolants peuvent être classés en différentes familles en fonction de la matière première qui leur sert de base et en fonction du type de transformation que cette matière première a subie lors de la fabrication du produit isolant.

Selon la matière première utilisée, on distingue les isolants minéraux (inorganiques) et les isolants organiques. Selon le processus de fabrication et le type de transformations subies, on distingue les isolants naturels et les isolants synthétiques.



© Sophie Trachte, Matériau, matière d'Architecture Sustainable

Les matériaux isolants peuvent être présentés sous différentes formes : panneaux rigides, matelas, feutre, laine de bourrage, matériau en vrac ou encore mousse formée sur place.

Le choix adapté d'un isolant devrait se faire en tenant compte des conditions constructives du bâtiment à rénover (techniques et matériaux), des règles techniques et des exigences particulières à respecter. Il faut tenir compte :

- des dimensions du produit, de sa masse volumique et de ses qualités intrinsèques ;
- des propriétés de résistance (à la pression ou compression, traction, pouvoir adhésif des mousses);
- de sa stabilité dimensionnelle au froid ou à la chaleur;
- de ses propriétés thermiques (conductivité et résistance thermique, capacité d'accumulation thermique) et de ses propriétés acoustiques;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- de sa protection contre l'humidité (perméabilité à la vapeur d'eau, perméabilité à l'eau...);
- de sa protection contre l'incendie

**Le choix d'un isolant devra également intégrer les priorités du développement durable c.-à-d. tenir compte de son impact sur l'environnement et sur la santé, de sa durabilité (résistance au vieillissement, résistance aux UV, résistance à une humidité trop élevée...) et aussi de son coût et de l'investissement financier engendré par sa mise en œuvre.**

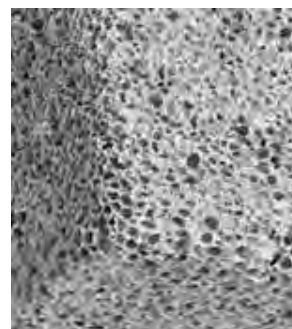
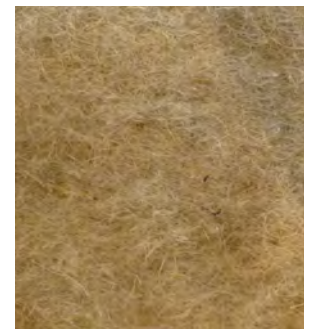
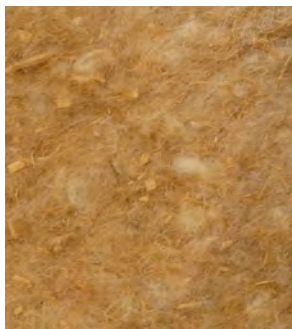
Indépendamment du choix de l'isolant, on distingue plusieurs types de fixations ou d'assemblages. Le choix de la fixation aura donc une influence considérable sur le traitement futur de l'isolant (réutilisation, recyclage...)

Les assemblages en vrac nécessitent en général la préparation d'un caisson dans lequel viendra se placer l'isolant, sous forme de billes, de grains ou de flocons. L'isolant en vrac peut être mis en œuvre simplement par déversement, bourrage ou insufflation.

Les assemblages mécaniques sont souvent utilisés lorsque l'isolant est placé comme remplissage d'une structure. On utilise alors des agrafes ou des clous pour fixer l'isolant après l'avoir coincé entre les montants de la structure. On peut également fixer les isolants en panneaux grâce à des chevilles d'isolation, lorsque l'isolant est placé à l'extérieur des murs existants. Les assemblages en vrac ou mécaniques sont entièrement réversibles et en théorie l'isolant peut être réutilisé, pour autant que lors du démontage du bâtiment il soit traité séparément des autres matériaux.

Les assemblages qui nécessitent l'usage d'une colle – isolants en panneaux ou en rouleaux – ou d'un liant – isolants en vrac – ne sont généralement pas réversibles.

Le matériau isolant est lié à un ou plusieurs autres matériaux et son démontage ne pourra pas se faire avec autant de facilité que pour les isolants utilisés en vrac ou assemblés mécaniquement. La plupart du temps, les matériaux mis en œuvre à l'aide de colle ou d'un liant sont inutilisables après démontage.



01. Chanvre
02. Flocons de cellulose
03. Fibres de noix de coco
04. Lin
05. Liège
06. Laine de bois
07. Concassé de verre cellulaire
08. Laine minérale
09. Polystyrène expansé (EPS)
10. Polyuréthane
11. Polystyrène extrudé (XPS)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.4.3. Isoler – étape 1 : Evaluer l'état de l'enveloppe

L'isolation des parois de l'enveloppe dépend de la nature, de l'épaisseur et de l'état des différentes couches de matériaux qui les composent. Il est donc important d'évaluer la situation et l'état de cette enveloppe avant de prendre des mesures d'améliorations.

#### → Murs de façades ou murs extérieurs

- Le ou les bâtiments à rénover présentent-ils des murs aveugles (grande surface sans fenêtre) ? ;
- Les murs extérieurs sont-ils isolés ?
- Les murs extérieurs sont-ils sensibles à l'humidité (pluie ou humidité ascensionnelle) ou sont-ils en mauvais état (revêtement abîmé, en fin de vie, joints dégradés...) ?
- Présence d'humidité ou de moisissure à l'intérieur du bâtiment ?

#### → Châssis et vitrages

- Certains vitrages sont-ils en mauvais état (vitres cassées et non remplacées) ?
- Les châssis sont-ils équipés de simple ou double vitrage ?
- Les châssis sont-ils en bon état ?
- La qualité des châssis : sont-ils à coupures thermiques, sont-ils étanches à l'air ?

#### → Toitures

- La ou les toitures sont-elles isolées ?
- Le revêtement de toiture est-il en mauvais état (présence de mousses ou lichens, tuiles ou ardoises cassées...) ?
- En cas de toiture plate, l'étanchéité est-elle en bon état ?
- Présence d'humidité ou de moisissure à l'intérieur du bâtiment ?

#### → Dalle de sol

- La dalle de sol est-elle isolée ?
- La dalle de sol est-elle sur le sol ou sur un vide ventilé ?
- Y a-t'il des caves sur l'entièreté de la surface ou sur une partie ?

Il est également essentiel, avant de réaliser des travaux d'isolation, de bien connaître les caractéristiques hygrothermiques et mécaniques des parois existantes et des matériaux rapportés et, ensuite, de s'assurer que la mise en œuvre soit de qualité

### 1.3.4.4. Isoler – étape 2 : Délimiter le volume protégé

En rénovation, il est nécessaire de déterminer le volume protégé en se basant sur certaines caractéristiques du bâtiment. L'amélioration de l'enveloppe du bâtiment peut également amener le concepteur à modifier le volume protégé.

Indices montrant l'appartenance ou non d'un local au volume protégé :

- Lorsqu'il y a au moins un corps de chauffe (poêle, radiateur, sol chauffant, ...) dans un local, celui-ci appartient nécessairement au volume protégé ;
- Lorsque le local abrite une activité qui nécessite un confort thermique (chauffage ou refroidissement) celui-ci appartient nécessairement au volume protégé ;
- Lorsqu'il y a une intention d'isoler thermiquement le local de l'environnement extérieur par l'isolation d'au moins une des parois de ce local. Les indices d'isolation de la paroi sont la présence d'une couche isolante ( $\rho < 0.07 \text{ W/mK}$ ) ou d'un double vitrage ;
- Lorsque des locaux contigus sont ouverts l'un sur l'autre (baies sans porte ou fenêtre), soit ils appartiennent tous au volume protégé, soit aucun n'appartient au volume protégé ;
- Lorsqu'un local est ouvert sur l'environnement extérieur (baies sans porte ou fenêtre) il n'appartient PAS au volume protégé ;
- Lorsqu'une paroi isolée sépare deux locaux on peut supposer qu'on a voulu protéger l'un d'entre eux des déperditions thermiques. On peut donc en déduire que l'un appartient au volume protégé et l'autre pas ;

En l'absence des indices ci-dessus, on peut considérer qu'un local appartient au volume protégé lorsque qu'il est majoritairement entouré par des espaces appartenant au volume protégé. C'est-à-dire que la surface des parois qui le sépare de ces espaces est plus petite que la surface de ses autres parois.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Si on veut améliorer les performances thermique d'un bâtiment, il peut être judicieux d'intégrer certains locaux au volume protégé (exemple : fermer un passage ouvert à tous vents sous un bâtiment) ou de les en exclure (exemple : suppression des radiateurs dans un local périphérique où la chaleur est inutile).

### 1.3.4.5. Isoler - étape 3 : choix des performances à atteindre

#### → Cadre réglementaire au niveau européen en ce qui concerne la performance énergétique

Faisant suite aux engagements de l'Europe face au Protocole de Kyoto, le Parlement et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté, en 2002, la Directive européenne (2002/91/CE) sur la performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments.

Cette directive évalue la Performance Énergétique des Bâtiments *comme la quantité d'énergie effectivement consommée ou estimée pour répondre aux différents besoins liés à une utilisation standardisée du bâtiment. Celle-ci comprend entre autres le chauffage, l'eau chaude, le système de refroidissement, la ventilation et l'éclairage (pour les bâtiments non résidentiels) et tient compte notamment de l'isolation, des caractéristiques des installations, des paramètres climatiques, de l'exposition solaire, de l'autoproduction d'énergie du climat intérieur, etc. Cette quantité est exprimée par un ou plusieurs indicateurs numériques résultant d'un calcul. L'autoproduction désigne ici la production d'énergie par des systèmes tels que les panneaux solaires thermiques, photovoltaïques, la cogénération,...*

La directive impose à chacun des Etats-Membres de définir en droit national ou régional :

- une méthode de calcul de la Performance Énergétique des Bâtiments ;
- des exigences minimales relatives à la performance énergétique des bâtiments neufs et des bâtiments existants faisant l'objet de travaux de rénovation importants;
- des systèmes de certification de la P.E.B.;
- des exigences concernant l'inspection régulière des chaudières et des systèmes de climatisation.

Conformément à la Directive, un certificat d'une durée de validité de 10 ans, attestant la performance énergétique doit ainsi être délivré à chaque moment-clé de la vie du bâtiment lors de sa construction, lors de sa vente ou lors de sa location.

Avant d'entreprendre une rénovation énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment scolaire, tout concepteur veillera à prendre en considération les réglementations en vigueur.

Il est également important de souligner que malgré le cadre législatif de la directive européenne, il existe de nombreuses différences entre pays tant au niveau de la méthode de calcul que des exigences à atteindre.

#### → Choix volontaire d'atteindre une meilleure performance

Chaque maître d'ouvrage ou chaque établissement scolaire peut avoir la volonté d'aller au-delà des exigences réglementaires en ce qui concerne la performance énergétique et l'apport d'énergie renouvelable. Trois standards peuvent ainsi être mis en évidence :

#### Standard « Très basse consommation d'énergie »

Il n'existe aucune définition européenne de ce standard énergétique. Historiquement, tous les bâtiments, nouvellement construits ou rénovés, dont la performance énergétique était plus importante que celle exigée par les normes en vigueur, ont été qualifiés de « basse énergie ». Nous avons ici considéré le standard « très basse énergie » comme un niveau de performance défini par un besoin en chauffage (et/ou refroidissement) égal ou inférieur à 30kWh/m<sup>2</sup>.an, ce qui correspond aux coefficients d'isolation suivants :

Coefficient de transmission thermique	Europe centrale	Pays scandinaves
Max U-value, murs extérieurs	0.2 W/m <sup>2</sup> K	to be completed by experts
Max U-value, toiture	0.2 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, dalle de sol	0.2 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, surface vitrée de porte ou châssis	1.1 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, ensemble châssis/vitrage	1.5 W/m <sup>2</sup> K	



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Standard « PassivHaus »

Un bâtiment passif est, selon le Passivhaus-Institut à Darmstadt, un bâtiment qui atteint une température ambiante agréable sans chauffage conventionnel en hiver et sans climatisation en été.

Ce niveau de performance est défini par une série de critères à atteindre par un bâtiment non résidentiel pour obtenir la certification :

- Besoin net en énergie de chauffage : inférieur ou égal à 15 kWh/m<sup>2</sup>.an ;
- Besoin net en refroidissement : inférieur ou égal à 15 kWh/m<sup>2</sup>.an ;
- Consommation d'énergie primaire totale : la consommation d'énergie primaire totale doit être inférieure à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an ;
- Etanchéité à l'air : le résultat du test blower door doit être inférieur ou égal à 0,6 h-1 (taux de renouvellement d'air mesuré à une différence de 50 Pascals) ;
- Pourcentage de surchauffe : le pourcentage de surchauffe dans le bâtiment (plus de 25°C) doit être inférieur ou égal à 5% du temps de travail.

Un calcul de ces performances doit être réalisé dans le logiciel PHPP en respectant certaines règles. Au niveau de la performance thermique des parois, ces exigences correspondent aux coefficients suivants :

Coefficient de transmission thermique	Europe centrale	Pays scandinaves
Max U-value, murs extérieurs	0.11W/m <sup>2</sup> K	to be completed by experts
Max U-value, toiture	0.11 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, dalle de sol	0.15 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, surface vitrée de porte ou châssis	0.8 W/m <sup>2</sup> K	
Max U-value, ensemble châssis / vitrage	0.8 W/m <sup>2</sup> K	

Les bâtiments scolaires, par rapport aux autres bâtiments non résidentiels présentent des spécificités propres : taux d'occupation faible et grand nombre d'occupants. Les gains internes liés à l'occupation des locaux, et spécialement les locaux de classe, sont importants et peuvent dans le cas de bâtiments fort isolés engendrer une surchauffe. Celle-ci devrait idéalement être analysée par simulation dynamique.

### Standard « Net Zero Energy Building »

Selon la définition de l'AIE, un bâtiment est considéré comme « Net Zero Energy » lorsque la consommation annuelle d'énergie nette est compensée par une quantité égale d'énergie produite sur place (dans le bâtiment, sur le bâtiment et/ou sur le site d'implantation).

Ce niveau de performance énergétique induit à la fois un travail important sur l'enveloppe afin de la rendre très performante et un apport considérable d'énergie renouvelable (solaire, éolien,...). Cet apport d'énergie renouvelable peut être produit « in situ » ou dans un réseau proche d'un bâtiment.

#### → Choix et épaisseur d'isolant en fonction de la performance choisie

Le choix d'une performance et l'épaisseur de l'isolant est en quelque sorte le résultat d'un compromis à trouver entre une diminution du coût d'exploitation (diminution des besoins de chauffage / climatisation) et l'augmentation du coût d'investissement (coût supplémentaire généré par une surépaisseur d'isolant)

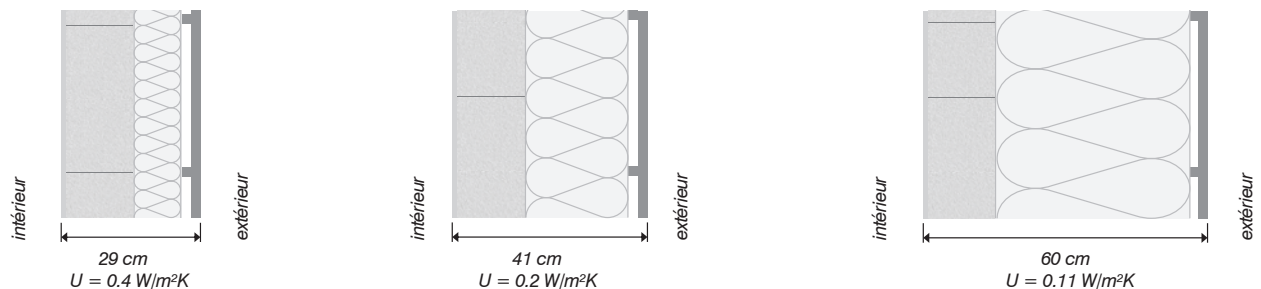
L'épaisseur d'isolation dépend également du matériau choisi et de son coefficient de conductivité. Pour atteindre une même performance d'isolation, les épaisseurs d'isolation varient en fonction du type d'isolant :

*Exemple – pour atteindre le niveau de performance « très basse consommation d'énergie » - murs extérieurs*

- Polyuréthane ( $\lambda$  entre 0.023 et 0.029 W/mK) : entre 11 et 14 cm
- Polystyrène expansé ( $\lambda$  entre 0.031 et 0.040 W/mK) : entre 15 et 20 cm
- Laine de roche ( $\lambda$  entre 0.035 et 0.040 W/mK) : entre 17 et 20 cm
- Panneaux de fibre de bois ( $\lambda$  entre 0.04 et 0.05 W/mK) : entre 19 et 24 cm
- Cellulose ( $\lambda$  entre 0.035 et 0.05 W/mK) : entre 17 et 24 cm

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Epaisseur d'isolation selon la performance à atteindre

Source: Catherine Massart, Conception de maisons neuves durables, Architecture et Climat, 2010

En fonction de la performance énergétique souhaitée et de la performance de l'isolant choisi, la couche isolante de l'enveloppe peut donc être relativement conséquente.

Le poids de cette couche peut également être différent en fonction du type d'isolant utilisé

- Polyurethane ( $30 \text{ kg/m}^3$ ):  $3.3 \text{ kg/m}^2 - 4.2 \text{ kg/m}^2$ ;
- Expanded polystyrene ( $25 \text{ kg/m}^3$ ):  $75 \text{ kg/m}^2 - 5 \text{ kg/m}^2$
- Rockwool ( $40 \text{ kg/m}^3 - 100 \text{ kg/m}^3$ ):  $6.85 \text{ kg/m}^2 - 17 \text{ kg/m}^2$  with a thickness of 17 cm;
- Rockwool ( $140 \text{ kg/m}^3 - 240 \text{ kg/m}^3$ ):  $25 \text{ kg/m}^2 - 43 \text{ kg/m}^2$  with a thickness of 20 cm;
- Cellulose ( $50 \text{ kg/m}^3 - 150 \text{ kg/m}^3$ ):  $10 \text{ kg/m}^2 - 30 \text{ kg/m}^2$  with a thickness of 20 cm;

Cette épaisseur ou surépaisseur aura une influence considérable sur le mode constructif et le type de fixation possible. Certains modes constructifs ne pourront plus être utilisés ou difficilement vu l'épaisseur de l'isolant, la complexité de la mise en œuvre ou le coût. En revanche, d'autres modes constructifs favoriseront ou faciliteront la mise en œuvre d'épaisseurs importantes d'isolant mais également leur remplacement éventuel.

### → Choix de l'isolant et de la finition (intérieure ou extérieure)

Le choix des matériaux d'isolation et des finitions, ne se limite pas au choix d'un mode constructif. Les critères de choix se basent tant sur leurs performances propres ou combinées, que sur leur impact sur l'environnement ou sur la santé des occupants, leur facilité de mise en œuvre et d'entretien, leur durée de vie et le temps qui sépare leur entretien, leur possibilité d'être recyclés, ou simplement leur prix.

### → Choix du mode constructif

Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, l'isolant sera soit collé, soit collé et fixé mécaniquement au support ou encore placé entre une structure (métal ou bois). Il sera ensuite protégé par un enduit de finition ou un matériau de parement.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, l'isolant sera soit collé, soit projeté ou encore placé entre une structure (métal ou bois). Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, il est toujours préférable de prévoir une contre-cloison technique du côté intérieur (de 2 à 10 cm). Celle-ci est réalisée après la pose de l'isolant et de la membrane pour réguler la vapeur (et l'air) et permet de distribuer les câbles, tuyaux ou gaines (électricité, chauffage...) sans percer la membrane. L'isolant sera alors séparé de l'ambiance intérieure par une contre-cloison ou une plaque de carton-plâtre ou de fibro-plâtre.

Les différents systèmes sont présentés ci-après :

### Panneaux isolants "collés"

Ce système est généralement le plus simple à mettre en œuvre, mais la surface (extérieure ou intérieure) du mur existant doit être relativement plane : les défauts de planéité ne peuvent pas dépasser 15 mm sur une règle de 2 m.

#### Matériaux

Les matériaux les plus souvent utilisés sont :

- En isolation extérieure : le polystyrène expansé (EPS) ou extrudé (XPS), le polyuréthane (PUR), les laines minérales ou les panneaux de fibres de bois.
- En isolation intérieure : le polystyrène expansé (EPS) ou extrudé (XPS), les laines minérales ou les panneaux en fibres de bois ;

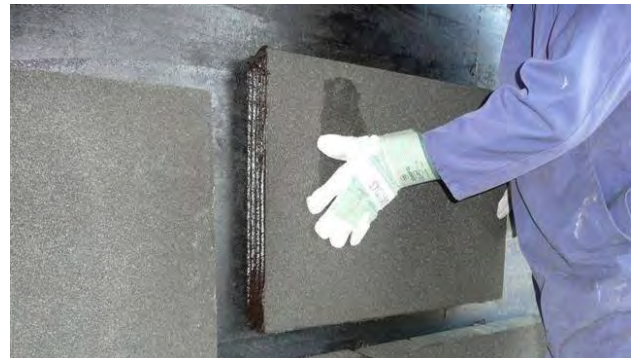
Il existe également des solutions qui reprennent à la fois l'isolant, le pare-vapeur et la finition (extérieure ou intérieure). Dans ce cas, la continuité entre éléments doit alors être soignée. En isolation intérieure, des blocs ou des panneaux isolants en silicate de calcium collés entre eux et au support peuvent aussi être utilisés.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Mise en oeuvre d'un isolant EPS - © Sto



Mise en oeuvre du verre cellulaire - © Foamglas

### Mise en oeuvre

La mise en œuvre doit être très soignée de façon à ce que les différents panneaux soient parfaitement jointifs et que les liaisons avec les autres parois soient aussi correctement réalisées (isolation intérieure).

### **Structural system**

Ce système permet de rattraper les défauts de planéité du mur. Un isolant souple est posé dans une ossature bois ou métallique fixée au mur et formant des caissons. Un isolant en vrac peut également être insufflé dans l'ossature. Les éléments de structure diminuent le pouvoir isolant du complexe. Pour limiter cet effet, une plaque d'isolant rigide peut être posée sur les structures :

- En isolation extérieure : avant le matériau de parement
- En isolation intérieur : avant le pare-vapeur éventuel et la finition.

### Matériaux

Que ce soit en isolation extérieure ou intérieure, les matériaux utilisés le plus couramment sont les rouleaux de laine minérale (MW) ou végétale, ou les isolants projetés comme la cellulose (CEL).

### Mise en oeuvre

La mise en œuvre doit être soignée. Il faut veiller à ce que les interruptions de l'isolant au droit de la structure soient limitées. La membrane pour réguler la vapeur doit être parfaitement continue.



Placement de la laine de verre - © Isover



Placement de la laine de bois- © Biofib

### **Système d'isolation projetée (intérieure)**

Certains isolants peuvent être directement projetés sur le mur existant. Les irrégularités du mur ne posent alors plus de problèmes.

### Matériaux

L'isolant utilisé le plus couramment est la mousse de polyuréthane (PUR) projetée recouverte d'un enduit (qui rend les panneaux jointifs). D'autres options existent : les mélanges chaux-chanvre (LHM), les enduits isolants à base de billes de polystyrène expansé (EPS) ou de vermiculite...

### Mise en oeuvre

La mousse de polyuréthane est projetée par couches successives, jusqu'à l'épaisseur souhaitée. Elle sèche en quelques minutes. La mise en œuvre des mélanges chaux-chanvre est plus délicate et plus longue et demande des temps de séchage beaucoup plus importants. Selon leur dosage en liant (à base de chaux aérienne), les mélanges chaux-chanvre

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Mise en oeuvre de la cellulose - © Thermofloc



Mise en oeuvre de flocons de laine de verre - © Isover

peuvent être soit projetés directement sur le support (manuellement ou mécaniquement), soit coffrés contre le support le temps de la mise en œuvre. La finition est généralement réalisée à l'aide d'un enduit à la chaux dont il faut assurer la parfaite continuité.

### → Aides financières et subsides

L'isolation des bâtiments, qu'ils soient résidentiels ou non résidentiels est souvent sujette à subsides et/ou déduction fiscale. Il est donc toujours intéressant de se renseigner avant d'entamer ce type de travaux de rénovation.

### 1.3.4.6. Réparation, entretien et maintenance

Dans certains cas, le bâtiment à rénover est déjà isolé. Différents cas peuvent ainsi être identifiés :

- la couche isolante est insuffisante pour atteindre les performances énergétiques souhaitées ;
- la couche isolante, le pare-vapeur ou l'étanchéité a subi des dégradations ;
- la couche isolante est insuffisante et a subi des dégradations.

### → Couche isolante insuffisante

Lorsque la couche d'isolation des parois de l'enveloppe est insuffisante, deux solutions sont envisageables :

- Conserver l'isolant existant et ajouter une couche d'isolation supplémentaire permettant d'atteindre la performance souhaitée ;
- Remplacer l'isolant existant par un nouvel isolant

La première solution nécessite cependant diverses analyses et simulations afin de s'assurer que cette nouvelle couche d'isolant ne va pas perturber l'équilibre hygrothermique du mur existant et entraîner des dégradations plutôt que des améliorations.

La simulation hygrothermique d'un mur existant à l'aide de logiciels spécifiques tels que WUFI nécessite la connaissance de nombreux paramètres (type de matériaux utilisés, performances de ceux-ci...) Si ceux-ci ne sont pas connus avec précision, il convient de se mettre du côté de la sécurité et d'enlever l'isolant existant.

### → Dégradations de la couche isolante

Lorsque suite à une infiltration d'eau, une mauvaise conception (pare-vapeur insuffisant) ou à une mauvaise réalisation (pare-vapeur mal posé), l'isolant a été noyé, il est quasiment impossible de le sécher complètement et naturellement même si les sources d'humidification ont été supprimées. Un isolant trempé perd toute efficacité. Il est donc nécessaire de le remplacer. Son remplacement nécessite également l'enlèvement de la membrane d'étanchéité existante et la pose d'une nouvelle étanchéité.

Lorsque les dégradations sont dues à un défaut du pare-vapeur, on remplacera l'isolant, la membrane et le pare-vapeur par un autre plus efficace.

Lorsque l'isolant a été accidentellement écrasé, ses qualités d'isolation diminuent à l'endroit de l'écrasement. Si l'écrasement est local, il y a risque de pont thermique à cet endroit. S'il ne provoque pas de condensation superficielle ou interne, il aura pour seule conséquence une perte d'énergie. Celle-ci sera cependant limitée à cause de la petite surface concernée. Avant de décider d'une possible intervention, il convient de vérifier :

- si le niveau d'isolation est acceptable ;
- si l'écrasement de l'isolant n'a pas provoqué de rupture dans la membrane d'étanchéité.

Si l'écrasement concerne de grandes surfaces, la qualité thermique de la paroi est fortement diminuée. Il y a donc lieu de

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



remplacer la couche isolante, la membrane d'étanchéité et le pare-vapeur.

Suite à des retraits, des mouvements thermiques ou des contraintes mécaniques extérieures, il arrive que les panneaux isolants rétrécissent ou se déplacent créant ainsi des discontinuités dans la couche isolante.

Là où l'isolation est interrompue, il y a présence de pont thermique. S'il ne provoque pas de condensation superficielle ou interne, il aura pour seule conséquence une perte d'énergie. La qualité thermique de la paroi est diminuée. Avant de décider d'une possible intervention, il convient de vérifier si le niveau d'isolation résultant est toujours acceptable.

### → Attention particulière à apporter aux toitures plates, après travaux

Les toitures sont plus susceptibles d'être soumises à des dégradations (infiltrations d'eau, écrasement de la couche isolante, dépôt de feuilles...)

Un entretien de celle-ci s'impose pour éviter, grâce à une intervention rapide, toutes aggravations des dégâts tant à l'étanchéité elle-même qu'à son support, mais aussi à la couche isolante qui perd toute efficacité lorsqu'elle est humide.

Cet entretien, sera de préférence pris en charge par l'entrepreneur qui a réalisé l'étanchéité ou par la personne en charge de l'entretien et la maintenance des bâtiments scolaires. Il comprend :

- à l'automne, après la chute des feuilles, l'élimination des feuilles mortes, l'enlèvement de mousses et objets étrangers
- après l'hiver une inspection générale, des réparations éventuelles touchant à l'apparence de l'étanchéité, l'entretien des avaloirs, des tuyaux de descente, de l'éventuelle couche de protection, des solins, des profilés, des joints,...

### 1.3.5. Traiter les ponts thermiques

#### 1.3.5.1. Notions de base

Selon la norme EN ISO 10211-1, un pont thermique correspond à « une partie de l'enveloppe d'un bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible par :

- la pénétration, totale ou partielle, de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente et/ou
- un changement dans l'épaisseur de la structure et/ou
- une différence entre les structures, intérieures et extérieures, comme il s'en produit aux liaisons paroi/plancher/plafond. »

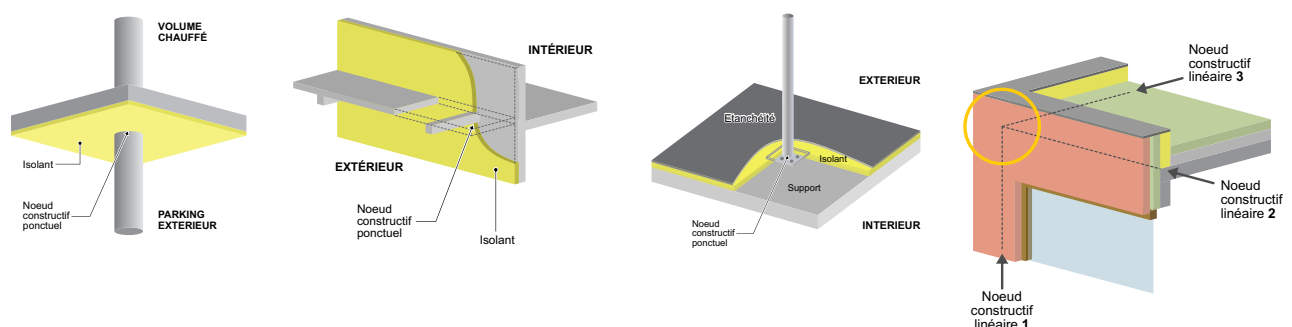
Les ponts thermiques sont des défauts dans la conception et/ou de réalisation de l'enveloppe isolante d'un bâtiment. Ces défauts sont caractérisés par une rupture locale, linéaire ou ponctuelle de la couche isolante. A ces endroits, la température superficielle de l'enveloppe est plus basse que celle des surfaces environnantes.

Un pont thermique ou sa valeur  $\psi$  est influencé par deux types de contraintes :

- les contraintes constructives : les endroits où la continuité de l'isolant n'a pas été respectée. L'isolant étant localement absent ou de moindre épaisseur, le flux de chaleur est sensiblement plus dense.
- les contraintes géométriques dues à la forme de l'enveloppe du bâtiment

La présence d'un pont thermique, dans l'enveloppe d'un bâtiment est source de :

- **dépensements thermiques supplémentaires** qui peuvent aller de 10% du total des dépensesments pour un bâtiment moyennement isolé à plus de 25% pour un bâtiment fortement isolé. Ces dépensesments thermiques entraînent inévitablement une consommation d'énergie plus importante ;



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- **phénomènes de condensation** liés à la diminution de température de la paroi intérieure aux endroits des ponts thermiques. Ces zones sont propices au développement de moisissures qui en plus de l'aspect inesthétique, présentent un risque sanitaire avéré pour l'occupant ou l'utilisateur et un risque de dégradation prématurée des matériaux et produits de construction. Dans les bâtiments très isolés, les ponts thermiques deviennent les seuls points froids. Ils concentrent tous les risques de condensation, et les pathologies potentielles qui y sont associées.
- **inconfort pour l'occupant** engendré par une sensation de paroi froide. En effet les surfaces à proximité des ponts thermiques se caractérisent par une température de surface inférieure à la température moyenne des parois.

Au niveau de l'enveloppe du bâtiment, on distingue deux types de pont thermique

### → Les ponts thermiques linéaires $\psi$ qui se développent sur une longueur

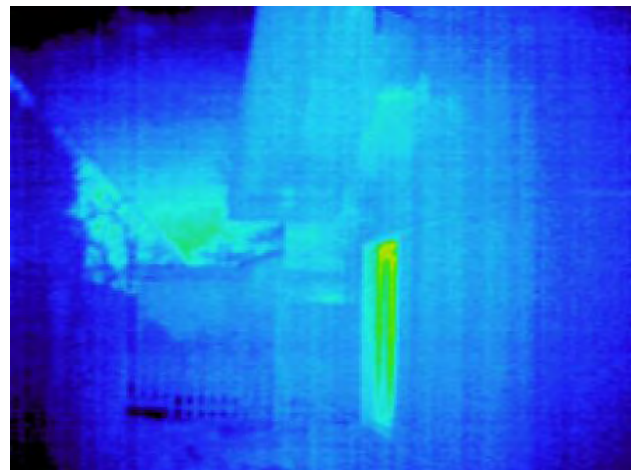
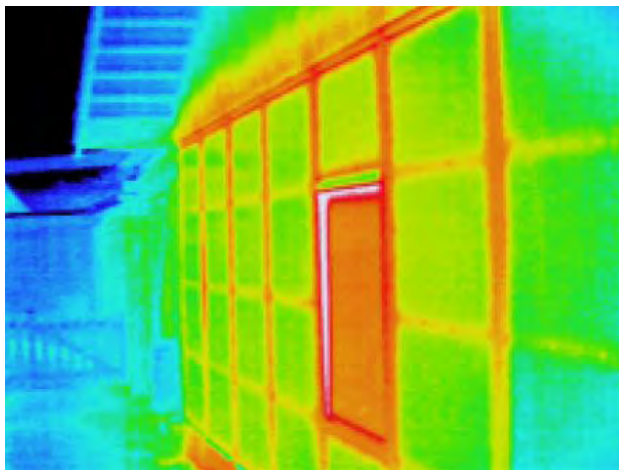
Un pont thermique linéaire peut se présenter aux endroits suivants :

- là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent c.-à-d. à chaque endroit où deux parois de l'enveloppe se coupent ou se rejoignent ;
- là où, dans une même paroi de la surface de déperdition, la couche isolante est interrompue ou réduite linéairement.

### → Les ponts thermiques ponctuels $\psi$ qui se réfèrent à un point

On parle seulement de pont thermique ponctuel lorsque la couche isolante d'une paroi est interrompue ou réduite ponctuellement. C'est le cas de :

- colonnes qui traversent la couche isolante d'un plancher au-dessus de l'extérieur, d'un parking, d'une cave...
- poutres perpendiculaires à une paroi qui en interrompent la couche isolante
- points de fixation de capteurs solaires, mâts... qui traversent la couche isolante
- ancrages ponctuels de supports de maçonneries...



Thermographie faite avant et après la rénovation de l'école maternelle - isolation extérieure de l'enveloppe avec laine de roche - Vejtoften (Danemark). Source: Jørgen Rose and Kirsten Englund Thomsen

### 1.3.5.2. Stage 1. Détecter les ponts thermiques

Dans un bâtiment existant, la présence d'un pont thermique peut être identifiée par des indices visuels tels que taches d'humidité et moisissures. Cependant les indicateurs visuels ne sont pas toujours fiables. Il est donc vivement conseillé – surtout si l'on souhaite atteindre le standard passif – de réaliser une étude spécifique incluant une recherche exhaustive des ponts thermiques existants au moyen d'outils adéquats tels que la thermographie (photographie infrarouge du bâtiment en période de chauffe), thermomètres de surfaces,...

### 1.3.5.3. Stage 2. Évaluer les déperditions thermiques et le risque de condensation

Les ponts thermiques étant à l'origine de déperditions thermiques supplémentaires et de risques de condensations, il convient d'évaluer ces déperditions ainsi que le risque potentiel de condensation.

#### → Évaluer les déperditions supplémentaires

Les ponts thermiques linéaires et ponctuels sont définis par leurs coefficients de transmission thermique linéaire  $\psi$  (W/

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



mK) et ponctuel  $\chi$  (W/K). Longtemps, ces points faibles du bâtiment ont été négligés, mais à présent et par le biais de la réglementation PEB notamment, il est obligatoire de les prendre en compte.

Pour évaluer ces déperditions supplémentaires, l'architecte a le choix entre plusieurs méthodes :

**La méthode détaillée** qui nécessite un calcul numérique de tous les ponts thermiques présents dans le bâtiment. C'est l'option la plus précise. L'influence positive ou négative sur les niveaux K et E dépendra des résultats des calculs réalisés.

**La méthode par défaut** qui considère des valeurs par défaut (normes ou catalogues de ponts thermiques). Les valeurs seront plus défavorables que celles calculées via un logiciel.

### → Evaluation du risque de condensation

Le risque de développement de moisissures et/ou de condensation superficielle est, quant à lui, évalué sur la base du facteur de température, noté  $fR_{si}^1$ . Des valeurs limites sont fixées pour ces deux paramètres – soit par les réglementations PEB, soit par des études de physique du bâtiment et des règles de bonne pratique – afin de garantir la qualité du détail.

*Le standard « Passifhaus » néglige les ponts thermiques si leur coefficient de transmission thermique linéique est inférieur à 0.01W/mK.*

### 1.3.5.4. Stage 3. Résoudre les ponts thermiques

En rénovation, le renforcement de l'isolation thermique de l'enveloppe peut accentuer l'impact relatif des déperditions par les ponts thermiques s'ils ne sont pas traités. Et rendre ceux-ci thermiquement performants peut se révéler difficile. La difficulté dépendra essentiellement de la méthode d'isolation a posteriori choisie.

Certaines règles de base sont de vigueur pour l'amélioration ou la résolution des ponts thermiques :

- Continuité d'isolation

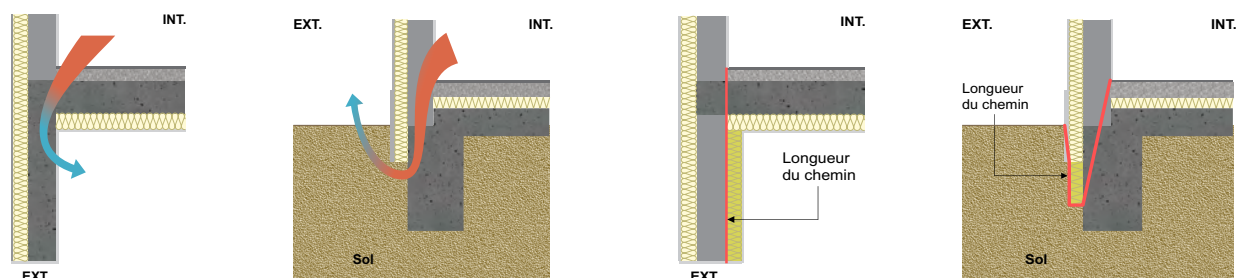
Les couches isolantes de 2 parois jointives de la surface de déperdition s'accrochent de manière continue avec une épaisseur de contact minimale. Idéalement l'épaisseur de contact entre les deux couches isolantes doit être égale à l'épaisseur de la couche. Mais cette solution idéale n'est pas toujours faisable dans la pratique d'un chantier.

- Interposition d'éléments isolants lorsque la continuité n'est pas possible

Dans certains cas, les couches isolantes ne peuvent pas se raccorder directement l'une à l'autre. Il existe alors la possibilité d'intercaler des éléments isolants. Ces éléments isolants assument localement la fonction d'isolation thermique des couches isolantes, de manière à maintenir ainsi la coupure thermique.

- Longueur de chemin de moindre résistance.

Cette règle est prévue lorsque les deux premières ne permettent pas de garantir la coupure thermique. Le chemin de moindre résistance est strictement défini comme le plus court trajet entre l'environnement intérieur, et l'environnement extérieur ou un espace adjacent non chauffé, et qui ne coupe nulle part une couche d'isolante. Si la longueur totale de ce chemin est inférieure à 1 mètre, alors il est alors recommandé d'ajouter de l'isolant.



1 L'indice  $R_{si}$  indique la valeur de la résistance thermique d'échange à la surface intérieure utilisée pour l'évaluation du facteur de température.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



→ Résoudre des ponts thermiques dans le cas d'une isolation par l'extérieur

Ci-dessous quelques détails d'exécution sont donnés à titre d'exemple pour différents raccords au niveau de l'enveloppe.

	Problèmes	Solutions
Descente d'eau extérieure		
Châssis, linteaux et tablettes de fenêtres		
Acrotère		
Dalle de sol		



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



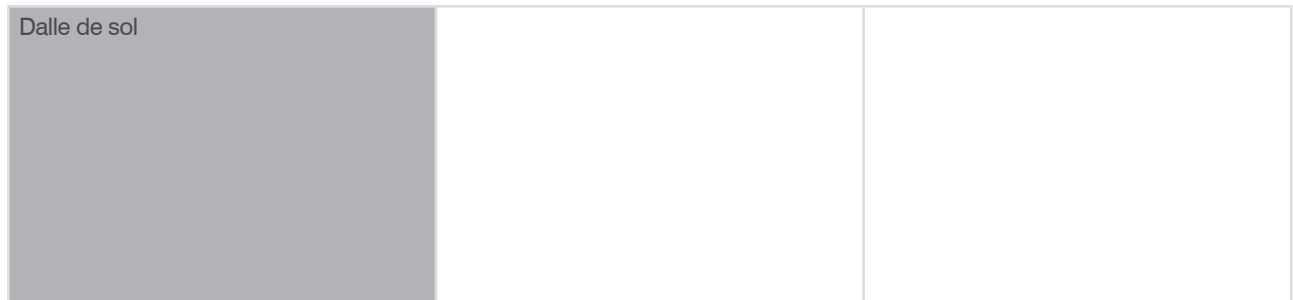
### → Résoudre des ponts thermiques dans le cas d'une isolation par l'intérieur

Ci-dessous quelques détails d'exécution sont donnés à titre d'exemple pour différents raccords au niveau de l'enveloppe

	Problèmes	Solutions
Prises électriques et canalisations		
Châssis, linteaux et tablettes de fenêtres		
Mur de refend		
Dalle d'étage (en béton)		
Plancher en bois		

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Outils d'aide pour la résolution de ponts thermiques

Quelques ouvrages spécifiques peuvent aider tout concepteur à résoudre ou améliorer certains ponts thermiques. Il s'agit notamment de :

- Catalogue des ponts thermiques de SIA, Suisse
- Bauteilkatalog, Autriche
- Les ponts thermiques / Thermal Bridges, B. Quévrin, Plate-forme Maison Passive, 2013 Belgique

### 1.3.6. Rendre l'enveloppe du bâtiment étanche à l'air

Une mauvaise étanchéité du bâtiment est une source d'inconfort thermique et acoustique (propagation de bruits extérieurs en zone urbaine). Elle induit également des pertes de chaleur importantes et une consommation énergétique plus importante. Une étanchéité médiocre peut aussi influencer le bon fonctionnement de l'installation de chauffage ou encore de l'installation de ventilation.

Les infiltrations parasites d'air - liées à cette mauvaise étanchéité - peuvent avoir lieu aussi bien de l'extérieur (ou des locaux non chauffés) vers l'intérieur, que de l'intérieur vers l'extérieur. Les premières engendrent des pertes d'énergie et un inconfort pour l'occupant mais les secondes peuvent en plus engendrer un risque de condensation dans les parois. Ces infiltrations d'air sont essentiellement dues à des points faibles de l'enveloppe qu'il faut s'efforcer de réduire ou d'éliminer lors de la rénovation.

Les principaux points faibles de l'enveloppe se situent au niveau des ensembles châssis/vitrage et au niveau des différentes liaisons entre éléments constructifs (voir schéma à la page suivante).

#### 1.3.6.1. Notions de base

L'étanchéité à l'air définit la propriété de l'enveloppe d'un bâtiment à empêcher tout passage d'air entre l'ambiance intérieure et le climat extérieur. L'étanchéité à l'air est un élément essentiel à améliorer si l'on souhaite atteindre une bonne performance énergétique, assurer la pérennité des ouvrages et garantir l'efficacité de la récupération de chaleur dans le système de ventilation double-flux, si ce système de ventilation est installé dans le bâtiment.

L'étanchéité à l'air a en effet plusieurs objectifs :

- réduire les déperditions thermiques (pertes par infiltration) ;
- supprimer les transferts d'air au travers des parois et les problèmes de condensation qu'ils provoquent ;
- garantir la récupération d'un maximum de chaleur dans le système de ventilation double-flux, si ce système est installé dans le bâtiment.

**Le niveau d'étanchéité de l'enveloppe se chiffre par la quantité d'air (nombre de renouvellements d'air) devant être insufflée pour maintenir une différence de pression de 50Pa dans le bâtiment: n50.**

La qualité de l'étanchéité à l'air dépend de plusieurs paramètres:

- la qualité de la mise en œuvre des pare-vapeur et des freine-vapeur;
- la nature et la qualité des revêtements intérieurs;
- la qualité des menuiseries extérieures;
- la qualité des joints ou raccords entre différents éléments (mur/menuiserie,...)

#### → Réglementation

La norme européenne EN 13779 recommande un taux de renouvellement d'air maximum à 50 Pa(n50) :

- de 1/h pour les bâtiments hauts (> 3 étages);
- de 2/h pour les bâtiments bas.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

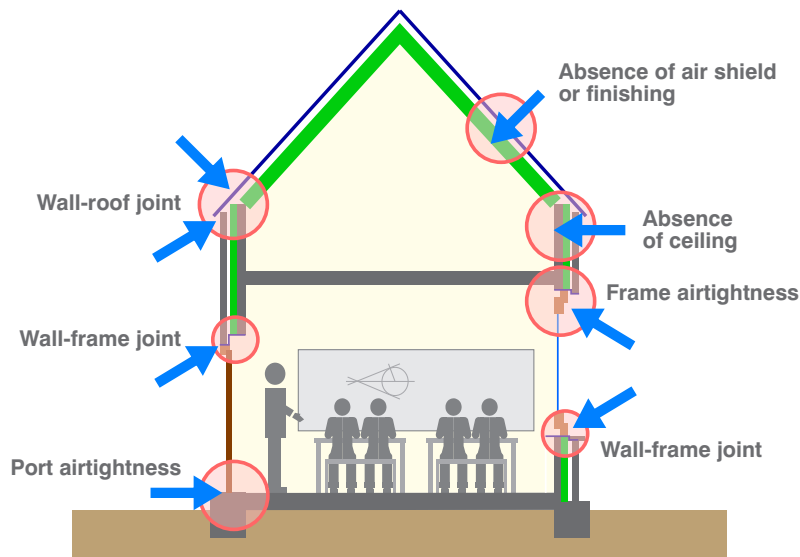
## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Au niveau des pays participants à la tâche AIE task 47 :

Pays	Current regulation – renovation of non-residential buildings / schools
Australie	to be completed by experts
Austrie	to be completed by experts
Belgique	n50 < 3/h : si ventilation mécanique n50 < 1/h : si ventilation mécanique avec récupération de chaleur
Danemark	to be completed by experts
Allemagne	to be completed by experts
Italie	to be completed by experts
Norvège	to be completed by experts

### 1.3.6.2. Etape 1 : vérifier l'étanchéité à l'air du bâtiment



Test «Blower Door» - Photo: Tatiana De Meester

Suivant la situation du ou des bâtiments, on peut tester l'étanchéité du bâtiment par sa pressurisation ou par la mesure de la quantité résiduelle d'un gaz traceur préalablement dispersée dans l'ambiance à contrôler.

Une autre approche consiste à effectuer sa propre observation en analysant la finition au droit des châssis de fenêtre, des murs, des toitures, des raccords, ...

#### → Technique du « Blower Door »

La qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment, avant ou après rénovation, peut être analysée par la technique du «blower door». Cette technique consiste à mettre les locaux en dépression ou en surpression à l'aide d'un ventilateur et de détecter les endroits où l'air s'infiltré au travers de l'enveloppe. La visualisation des infiltrations peut se faire:

- par thermographie infrarouge;
- à l'aide d'un anémomètre (déplacements d'air);
- à l'aide de fumée artificielle.

Le test est réalisé sous certaines conditions météorologiques et en fermant toutes les ouvertures de l'enveloppe (fenêtres, portes, grilles de ventilation,...). Un ventilateur est placé dans une baie, généralement une porte, de manière étanche, pour créer une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. On mesure ensuite les débits de fuite avec plusieurs différences de pression avec le bâtiment en surpression ou en dépression. On mesure le débit d'air que le ventilateur doit « extraire » ou « ajouter » pour maintenir une différence de pression donnée.

En rénovation, on essaiera d'atteindre le niveau exigé par le standard passif, à savoir un niveau d'étanchéité n50 inférieur à 0.6/h. Cependant, en basse énergie, lorsque le bâtiment scolaire est équipé d'une ventilation double flux avec récupération, on accepte un niveau d'étanchéité n50 entre 1 et 3/h.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.6.3. Etape 2 : Conception et qualité de mise en œuvre sur chantier

Une étanchéité à l'air performante dépend en grande partie de la qualité du dossier d'exécution et du soin apportée à la mise en œuvre sur chantier. Il est donc indispensable:

- de fournir aux différents corps de métier tous les détails d'exécution au niveau des raccords et des joints entre éléments de construction ;
- de dialoguer avec l'entreprise de rénovation et les ouvriers afin que tous les intervenants du chantier soient conscients de l'utilité des dispositifs à mettre en œuvre ;
- de suivre le chantier de manière rigoureuse, notamment lors de la pose des pare-vapeur et/ou freine-vapeur.

#### → Définition du volume étanche

Établir une cohérence entre le volume isolé ou protégé et le volume étanche est essentiel. Toutes les parois isolées doivent être étanches à l'air.

#### → Continuité de l'enveloppe étanche à l'air

Tout comme la couche isolante, l'étanchéité à l'air doit être continue. Il est donc essentiel de :

- Gérer l'ensemble des raccords pour un même matériau, s'il est discontinu, par l'utilisation de bandes adhésives (sur panneau OSB, sur les bandes de pare-vapeur,...);
- Gérer les raccords entre différents éléments faisant partie de l'enveloppe étanche (entre la menuiserie et le mur, entre élément de mur et dalle de sol, entre le pare-vapeur et le plafonnage,...);
- Éviter autant que possible les percements ou les interruptions dans les éléments de l'enveloppe;
- Gérer les percements nécessités par les techniques (cheminées, ventilation, évacuation des eaux...).

#### → Choix des matériaux et situation dans la paroi

L'étanchéité à l'air peut souvent être assurée par un des éléments ou des matériaux composant la paroi et assurant déjà une autre fonction. L'étanchéité à l'air des maçonneries est généralement assurée par un enduit intérieur traditionnel, le plus souvent à base de plâtre. Des maçonneries uniquement jointoyées ne permettent en effet pas d'atteindre des performances d'étanchéité à l'air élevées.

En fin de chantier, un essai de pressurisation, combiné à une photographie infrarouge (en hiver) peut être réalisé pour identifier les fuites éventuelles et y remédier.

### 1.3.6.4. Etape 3 : Améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment

*Avant d'entamer des travaux visant à améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, on doit vérifier la présence et le bon fonctionnement du système de ventilation sans quoi l'amélioration de l'étanchéité du bâtiment peut mener à des problèmes de mauvaise qualité de l'air, de condensation sur les parois délimitant le volume protégé, de moisissures, ...*

Les infiltrations parasites d'air peuvent avoir lieu aussi bien de l'extérieur vers l'intérieur, que de l'intérieur vers l'extérieur. Les premières engendrent des pertes d'énergie, mais les secondes peuvent en plus engendrer un risque de condensation dans les parois car l'air chaud et humide intérieur rencontre une paroi plus froide. Pour améliorer l'étanchéité du bâtiment, on peut agir sur différents types de pertes et sur l'étanchéité des parois séparant le volume protégé du volume non protégé. Au niveau des façades, on peut donc :

#### → Améliorer l'étanchéité au niveau des parties courantes des parois

Au niveau des parties courantes des parois délimitant le volume protégé, toute fissure doit être colmatée. Les matériaux poreux utilisés en construction tels que briques, blocs de béton, laines minérales, ... s'ils ne sont pas enduits, sont perméables à l'air. Il arrive également que les joints des maçonneries ne soient pas correctement réalisés, ce qui augmente encore la perméabilité à l'air de ce type de mur.

Pour améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, ces matériaux doivent être protégés d'une couche étanche à l'air : un enduit (cimentage ou plafonnage), des plaques de plâtres enrobées correctement rejointoyées. Une couche de peinture épaisse et filmogène peut aussi convenir.

#### → Améliorer l'étanchéité aux raccords des éléments de façade ou au niveau des percements

Les jonctions telles que les raccords entre les éléments de la construction (façade/toiture, façade/plancher au niveau de la plinthe, ...) ou les percements (passage de conduite, baie vitrée, portes, caisson de volet, boîtiers électriques, ...) sont toujours des points délicats.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



On doit vérifier la parfaite jonction du raccord entre les différents éléments de construction ou entre la paroi et le percement dès que ce dernier touche la ou les couche(s) de la façade qui assure l'étanchéité à l'air. Si cette jonction présente des espaces, il faut les colmater.

### → Améliorer l'étanchéité du raccord mur-châssis

#### Châssis conservé

Dans le cas d'une rénovation où les châssis existants sont conservés, il convient de refaire le joint entre le mur et le châssis

- Enlever le joint existant (mortier ou mastic) et nettoyer l'ouverture;
- Placer un fond de joint (pour autant que l'espace vide soit suffisant), par exemple, en plaçant un préformé de bourrage à cellules fermées. Dans le cas d'un mur plein, il est conseillé de créer une chambre de décompression entre le resserrage extérieur avec le gros-œuvre et le resserrage intérieur. L'injection de mousse de polyuréthane n'est pas conseillée car, de par son caractère expansif, elle peut provoquer des dégâts (arrachement, ...).
- Appliquer sur ce fond de joint un mastic élastique

*Remarque : on veillera également à l'étanchéité à l'air des châssis existants si ceux-ci sont conservés*

#### Châssis remplacé

Au niveau du châssis lui-même, l'étanchéité entre l'ouvrant et le dormant, ainsi que l'étanchéité au niveau de la jonction entre le vitrage et le châssis doivent être parfaites.

Au niveau du raccord entre le châssis et le mur :

- les raccords devraient toujours être placés AVANT la pose des châssis. Cette solution est plus facile, rapide, plus économique et garantit un meilleur résultat.
- raccord sec à coller au pare-vapeur d'une ossature bois ou raccord humide à noyer dans le plafonnage dans le cas d'un mur maçonné. Un excès de longueur doit être prévu dans les coins pour permettre le raccord facile avec les plans de l'ébrasement (voir photos) ;
- raccord à la colle spécifique entre le châssis et un ébrasement en panneau. L'entièreté du système est ensuite placée et raccordée de manière étanche à la paroi (en général, cette technique s'applique pour les ossatures bois).

Si le raccord doit se faire après le placement du châssis :

- dans le cas d'une ossature bois : raccord sec (souvent par bande adhésive) entre le châssis et
- le pare vapeur ou un panneau osb/multiplex qui fait le retour intérieur de la baie et est lui-même raccordé au pare-vapeur intérieur de manière étanche ;
- dans le cas d'un mur maçonné : membrane spécifique collée sur le bois et noyée dans le plafonnage (attention, cela nécessite une surcharge de plafonnage, un panneau de plâtre ou une latte supplémentaire pour dissimuler le collage de l'élément de raccord sur le bois) ;
- la tablette de fenêtre peut être placée avec un joint d'étanchéité afin d'assurer le raccord de la partie inférieure du châssis.

### → Continuité du plafonnage dans le cas où le plafonnage assure l'étanchéité à l'air

- plafonnage ou membrane d'étanchéité dans les zones rendues inaccessibles par le placement de techniques (plomberie, électricité, ...) y compris dans les gaines.
- plafonnage des surfaces cachées derrière les systèmes pour WC suspendus ;
- plafonnage de la tranche des baies proches de la façade dans des cloisons en maçonnerie creuse ;
- plafonnage du grenier si ce dernier est dans le volume protégé, même s'il est inaccessible ;
- gestion du pied de mur, raccord entre le plafonnage et la dalle.

### 1.3.7. Optimiser les surfaces vitrées

La fenêtre est un élément très important dans le bâtiment et encore plus dans les bâtiments scolaires où la qualité lumineuse est gage de confort visuel, de concentration et de bon apprentissage.

La fenêtre est un élément de l'enveloppe qui remplit de multiples fonctions. Il est donc important lors de la rénovation de bâtiments scolaires, de prendre en compte ces différentes fonctions et de dégager un optimum et/ou un compromis entre l'amenée de lumière naturelle, la vue vers l'extérieur, la performance thermique, la performance acoustique, l'apport de gains solaires en hiver et protection contre ceux-ci en été ou à mi saison, la possibilité d'ouverture, l'étanchéité à l'air et à l'eau et le niveau de sécurité.

La fenêtre est aussi un élément complexe composé de plusieurs éléments qui vont influencer l'efficacité de ses fonctions.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Son orientation, sa position, son dimensionnement et sa protection éventuelle vont également influencer son impact sur le confort de l'occupant.

### 1.3.7.1. Notions de base

Si l'influence de la fenêtre sur la performance énergétique, la performance acoustique et le confort de l'occupant dépend avant tout du contexte (implantation, orientation, position et taille de la fenêtre), l'impact du choix de ses composants est capital.

#### → Définitions

#### **Coefficient de déperdition thermique de la fenêtre $U_w$ [W/m<sup>2</sup>K]**

C'est la quantité d'énergie qui traverse la fenêtre, par heure et par m<sup>2</sup> et pour une différence de 1K. Plus la valeur  $U_w$  est petite, plus la fenêtre est thermiquement performante.

Le coefficient  $U_w$  de la fenêtre dépend de plusieurs facteurs :

- le coefficient de déperdition thermique du châssis  $U_f$
- le coefficient de déperdition du vitrage  $U_g$
- les caractéristiques de la combinaison de l'intercalaire, du vitrage et du châssis  $\square g$
- la proportion entre la surface du châssis et la surface du vitrage ;
- la présence de grilles de ventilation ;
- la présence de panneaux de remplissage (à la place du vitrage, en allège par exemple)

#### **Facteur solaire $g$ [%]**

Le facteur solaire est le rapport entre l'énergie solaire entrant dans le bâtiment et l'énergie solaire reçue la surface extérieure de la fenêtre. Suivant le dessin (page suivante), sur la quantité totale d'énergie que reçoit la surface extérieure du vitrage, une partie est réfléchiée (RE), une partie est absorbée (AE) par le vitrage et une partie est directement transmise (TE) à l'ambiance intérieure. La partie qui est absorbée est réémise, partiellement vers l'intérieur et vers l'extérieur.

Cette grandeur représente en réalité le niveau de protection que le vitrage seul, la protection solaire seule ou l'ensemble du vitrage et de la protection offrent face aux surchauffes d'été. *Plus le facteur solaire  $g$  est grand, plus les gains solaires sont importants.*

#### **Transmission lumineuse $t_l$**

La transmission lumineuse  $t_l$  est le rapport entre la quantité de lumière naturelle entrant dans le bâtiment par l'intermédiaire du vitrage et la quantité de lumière reçue à la surface extérieur du vitrage

Suivant le dessin (page suivante), sur la quantité de lumière que reçoit la surface extérieure du vitrage, une partie est réfléchiée (RL), une partie est absorbée (AL) par le vitrage et une partie est directement transmise (TL) à l'ambiance intérieure. La partie qui est absorbée est réémise, sous forme de chaleur, partiellement vers l'intérieur et vers l'extérieur. Cette grandeur caractérise la transparence du vitrage. *Plus la transmission lumineuse  $t_l$  est grande, plus le vitrage laisse la lumière pénétrer dans le bâtiment.*

#### → Les vitrages

Le choix du vitrage se base sur les trois paramètres définis ci-dessus. L'objectif au niveau des bâtiments scolaires est minimiser les déperditions thermiques ( $U_g$  le plus faible possible) et de maximiser l'apport de lumière naturelle ( $t_l$  le plus grand possible) en se protégeant en mi saison des gains solaires (principalement mai, juin et septembre lorsque les températures extérieures sont élevées).

Les vitrages permettant d'atteindre des performances énergétiques intéressantes sont composés de deux ou trois feuilles de verres, éventuellement recouvertes d'une couche métallique transparente ultra mince « basse émissivité » et séparées par une ou deux couches de gaz (air, krypton, argon) qui sont maintenues à distance par des intercalaires. Dans la rénovation des bâtiments scolaires, suivant l'objectif d'atteindre un niveau élevé de performance tant thermique qu'acoustique, on choisira au minimum:

- pour les pays d'Europe centrale: une faible émissivité clair double vitrage avec une valeur  $U_g$  de 1,1 W / m<sup>2</sup> K;
- pour les pays scandinaves: une faible émissivité triple vitrage avec une valeur  $U_g$  inférieure à 1,0 W/m<sup>2</sup> K

Le cas échéant, en fonction de l'orientation de la façade et du type de locaux, on couplera ce vitrage avec une protection solaire efficace pour pouvoir limiter les gains solaires en cas de surchauffe.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Remarque :

En rénovation de bâtiments scolaires, un compromis doit être trouvé entre un facteur solaire élevé en hiver, bas en mi-saison et une transmission lumineuse importante toute l'année. La solution consiste à choisir un vitrage clair avec un facteur solaire élevé et de placer une protection solaire sur les façades exposées pour éviter les surchauffes en été.

### → Les châssis

Avec l'apparition de vitrages de plus en plus performants, le châssis est devenu le point faible de la fenêtre. On sera donc particulièrement attentif à son niveau d'isolation thermique  $U_f$  (minimum  $1.8W/m^2K$ )

Les châssis de fenêtre peuvent être réalisés avec différents matériaux. Les matériaux les plus souvent utilisés sont le bois, le pvc et l'aluminium.

### Le bois

Wood is a good material for its thermal performance and technical properties as well as for its environmental properties (abundant, renewable resource, carbon sink, recycling etc.). It has a similar expansion coefficient to that of glass. A wooden frame may have a very long service life if it is well-designed, of good workmanship and well maintained.

There are types of wood that do not require treatment with preservatives or maintenance (high durability). Less durable types of wood can be protected by treatment (maintenance essential) or by a metal capping.

The profile of the frame can be in solid wood, glue-laminated or made up of several different layers including a layer of insulation. In general, profiles of a wooden frame are 58 mm thick, but manufacturers tend to increase the thickness of profiles to improve performance. Thus, some passive frame profiles can be as thick as 120 mm.

*Vu le nombre d'essences de bois disponibles, le concepteur sera attentif à choisir un bois labellisés FSC ou PEFC, labels garantissant que le bois provient d'une forêt durablement gérée. Le concepteur sera également attentif au choix des produits de préservation et de protection.*

### PVC

Le PVC est un matériau fortement utilisé pour les menuiseries extérieures (châssis et portes) et ce, pour les raisons suivantes : bonnes performance thermique, pas d'entretien, durée de vie importante et coût relativement bas. Son principal inconvénient est son coefficient de dilatation thermique (plus élevé pour des couleurs foncées), ce qui rend l'étanchéité à l'air et à l'eau plus difficile à assurer. Le bilan environnemental du PVC n'est pas favorable malgré que ce matériau soit recyclable et recyclé.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Aluminium

L'aluminium permet d'atteindre des performances thermiques intéressantes à condition d'assurer des coupures thermiques efficaces. Les châssis en aluminium sont solides, ont une longue durée de vie et ne demande aucun entretien. Par contre le coût est assez élevé. Le bilan environnemental de l'aluminium n'est pas favorable malgré que ce matériau soit recyclable et recyclé.

#### → L'intercalaire

L'intercalaire est une pièce métallique ou plastique qui sert à maintenir l'espacement entre les feuilles de verre du vitrage. Sa présence provoque un pont thermique sur le pourtour du vitrage. Ainsi une valeur de pont thermique linéaire  $\psi_g$  est donc prise en compte dans l'évaluation thermique de la fenêtre. Elle dépend du type d'intercalaire mais aussi du type de châssis et du type de vitrage choisis. Elle varie entre 0.11 et 0.03 W/mK.

#### → Tableau récapitulatif

Châssis		Vitrages avec intercalaires isolants ( $\psi_g = 0.07$ W/mK)						
		Double vitrage basse émissivité			Triple vitrage			
		air	argon	krypton	argon	krypton		
Type de châssis	Uf	Ug = 1.75	Ug = 1.3	Ug = 1.1	Ug = 0.7	Ug = 0.6	Ug = 0.5	
PUR	2.80	2.28	1.96	1.82				
PVC	3 chambres	2.00	2.04	1.72	1.58			
	4 chambres	1.80	1.98	1.66	1.52			
	5 chambres	1.60	1.93	1.60	1.46			
Bois Epaisseur 58mm	bois dur	2.14	2.08	1.76	1.62			
	résineux	1.91	2.01	1.69	1.55			
Métal (aluminium et acier)	Coupe thermique 20 mm	2.75	2.06	1.95	1.81			
	Coupe thermique 30 mm	2.53	2.19	1.88	1.74			
Châssis passif (68 – 100mm) - Bois + isolant et capot alu - Bois + liège - PVC + PUR		0.81 to 0.74				0.94 to 0.92	0.87 to 0.85	0.80 to 0.78

Source: Catherine Massart, Conception de maisons neuves durables – Conception des fenêtres, Architecture et Climat, 2010

### 1.3.7.2. Etape 1 : vérifications préliminaires

Lors de la rénovation de bâtiments scolaires, préalablement à toute amélioration des surfaces vitrées, il y a lieu de vérifier :

- la répartition des fenêtres sur les façades en fonction de l'orientation de celles-ci ;
- l'orientation et la forme des fenêtres ainsi que la surface de la partie vitrée par rapport à la surface des locaux qu'elles éclairent ;
- l'état du châssis et la performance de l'ensemble châssis/vitrage

Il est également important de signaler que la qualité et la répartition de la lumière naturelle dépend également des caractéristiques du local à éclairer (couleur et texture des parois, présence de mobilier, présence de tentures ou stores intérieurs...) mais également des protections solaires extérieures qui peuvent fortement réduire la pénétration de lumière naturelle dans le local.

#### → Répartition des fenêtres

Une répartition des surfaces vitrées en fonction de l'orientation des façades exerce une influence considérable sur les gains solaires mais également sur l'uniformité et la bonne répartition de la lumière.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Les locaux scolaires peuvent être éclairés de plusieurs manières :

- unilatéralement lorsque le local n'est éclairé que sur une de ses parois ;
- bilatéralement lorsque le local est éclairé sur deux de ses parois ou sur une de ses parois et de manière zénithale;
- multilatéralement lorsque le local est éclairé sur 3 parois minimum.

*En rénovation de bâtiments scolaires, on essaiera de privilégier, si c'est possible un éclairage bilatéral qui permet une meilleure pénétration et répartition de la lumière naturelle en réduisant les effets de contre-jour et les contrastes excessifs.*

### → Orientation, dimension et forme de la fenêtre

La surface vitrée permettant d'assurer un éclairage naturel suffisant et confortable dans un local dépend de l'environnement, de l'orientation, de la position et de la forme de la fenêtre et du local, des caractéristiques du vitrage, des éventuelles protections solaires ainsi que de l'aménagement intérieur et l'usage du local (mobilier, couleur et texture des parois)...

#### Surface vitrée

Le rapport conseillé entre la surface vitrée et la surface au sol du local est le suivant :

- 12 à 20% pour les orientations nord, est et ouest ;
- 15 à 20% pour l'orientation sud

#### Hauteur du linteau

Plus la fenêtre est positionnée en hauteur, plus la lumière naturelle pénètre en profondeur dans le local. On peut considérer, en vérification préliminaire que le local est bien éclairé si la profondeur du local fait 2 à 2.5 fois la hauteur du linteau de fenêtre par rapport au plancher.

#### Forme de la fenêtre

Plus la fenêtre est large, meilleure est la répartition de la lumière dans l'espace. De plus pour une surface égale de vitrage, la division en 2 ou 3 fenêtres est défavorable car elle crée des zones d'ombres, on privilégiera une répartition uniforme de la lumière avec une seule fenêtre ou surface vitrée.

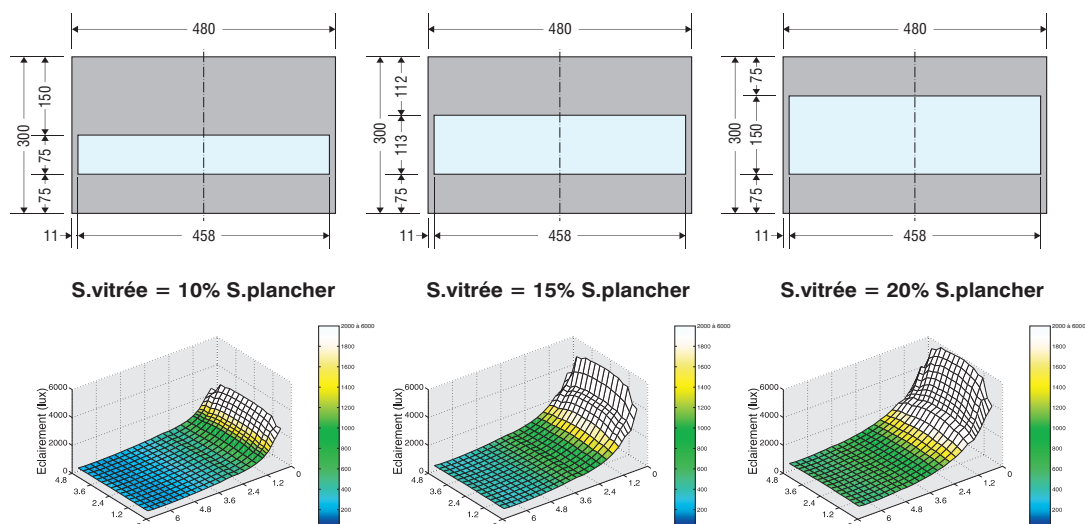
### → Etat du châssis et performance de l'ensemble

Le concepteur évaluera à la fois l'état du châssis et la performance de l'ensemble châssis/vitrage. L'état du châssis est lié à :

- l'entretien et l'état des cadres (absence de moisissures ou champignons, absence de corrosion, absence de déformation) ;
- le bon fonctionnement des charnières ;
- l'étanchéité des joints

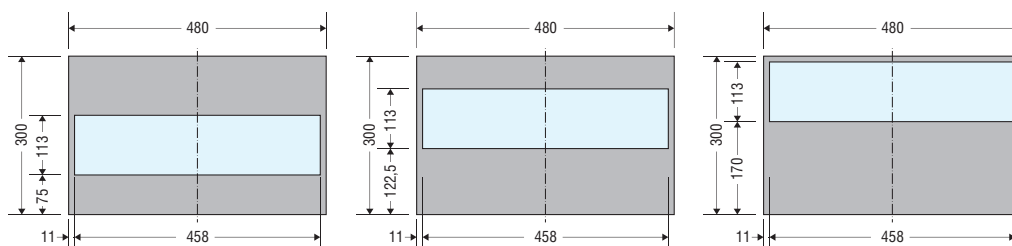
La performance thermique d'un ensemble châssis/vitrage est liée à la performance thermique du vitrage, à la performance thermique de l'intercalaire et à la qualité de mise en œuvre du châssis à la paroi (continuité de l'isolant).

De manière générale, en rénovation :



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

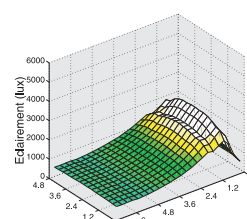
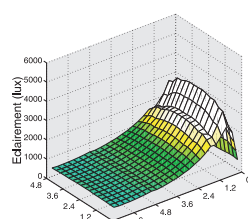
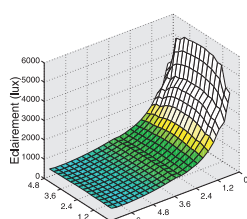
## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



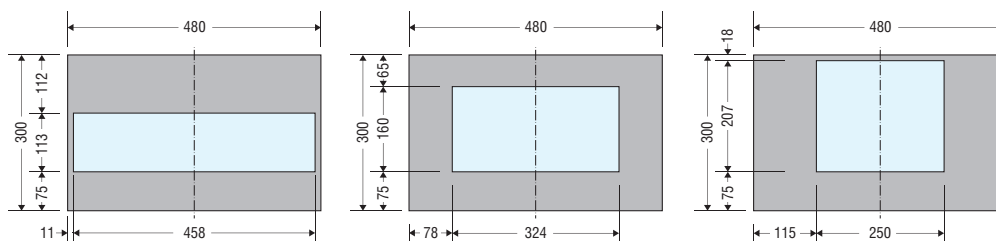
Position basse

Position à mi-hauteur

Position haute



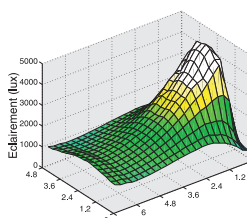
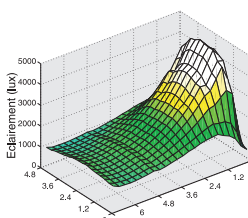
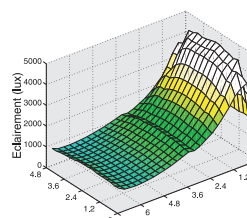
Source: Sigrid Reiter, L'éclairage naturel des bâtiments, Architecture et Climat, 2004



Fenêtre large

Fenêtre intermédiaire

Fenêtre haute



Source: Sigrid Reiter, L'éclairage naturel des bâtiments, Architecture et Climat, 2004

- les châssis anciens, sans coupure thermique et sans étanchéité à l'air seront remplacés ;
- le simple vitrage ou le double vitrage « première génération » sera remplacé par un double vitrage performant voir un triple vitrage

### 1.3.7.3. Etape 2 : choix de rénovation

#### → Objectifs et enjeux

La fenêtre est un point critique de l'enveloppe. Elle constitue souvent une surface moins bien isolée thermiquement et acoustiquement que les surfaces opaques. Elle peut être une source de défauts d'étanchéité à l'air. Elle peut également être source de nuisances à certains moments de l'année. Les objectifs pour une conception ou une amélioration optimale d'une fenêtre, dans le cas de bâtiments scolaires, sont les suivants :

- Une taille et une position adaptée au local et à sa fonction ;
- Un  $U_w$  minimal pour limiter les déperditions thermiques ;
- Une  $t_l$  maximale pour optimiser l'apport de lumière naturelle ;
- Un  $g$  maximal pour permettre les gains solaires en hiver ;
- Une protection solaire efficace pour limiter les gains solaires en période de surchauffe ;
- Une bonne isolation acoustique ;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- Une bonne étanchéité à l'air

### → Rénovation avec modification des baies et nouveaux ensembles châssis/vitrage

Après la première étape de vérification, deux cas peuvent s'envisager. Dans un premier cas, il s'avère intéressant, vu l'ampleur des travaux à réaliser de modifier, d'augmenter ou de repositionner les baies de fenêtres. Dans ce cas, l'ensemble des fenêtres va être remplacé. Il est cependant important de signaler qu'une modification de baie peut s'avérer coûteuse même si elle est intéressante voir nécessaire dans certains cas.

Toute modification de baie doit également être réalisée en tenant compte d'autres paramètres importants:

- Composition esthétique des façades
- Relation aux espaces extérieurs (cours de récréation, espace vert...)
- Proximité de la voirie ou de l'espace public

### → Rénovation avec conservation des baies existantes

Dans un second cas, on décide pour différentes raisons de conserver les baies existantes. Deux alternatives peuvent alors être envisagées :

- Le remplacement complet de l'ensemble châssis/vitrage si ces deux éléments sont peu performants thermiquement ;
- Dédoublage de l'ensemble châssis / vitrage, dans le cas de bâtiment classé ;
- La conservation du châssis existant et le remplacement du vitrage si le châssis est en bon état de conservation et thermiquement performant. Dans certains cas, l'allège vitrée peut être remplacée par une partie opaque isolée (panneau sandwich)

#### 1.3.7.4. Etape 3: mise en oeuvre

Lors de la mise en œuvre de nouveaux châssis dans des baies existantes ou de nouvelles baies, le concepteur sera particulièrement attentif à la qualité d'étanchéité à l'air des ensembles châssis/vitrage, à l'étanchéité des joints ou des raccords avec le mur de façade et aux ponts thermiques générés par la pose des châssis.

### → Rénovation avec modification des baies et nouveaux ensembles châssis/vitrage

Une modification de baie existante va automatiquement impliquer le remplacement de l'ensemble châssis/vitrage.

### → Rénovation avec conservation des baies existantes

Lorsqu'une baie existante est conservée, plusieurs alternatives sont possibles au niveau de l'ensemble châssis/vitrage. Si le châssis existant présente une faible étanchéité (air, eau) ou une faible isolation thermique, il sera certainement utile de le remplacer. Par contre s'il est étanche et présente une bonne isolation thermique, mais avec du simple vitrage, il est envisageable de remplacer seulement le vitrage.

Dans certains cas, notamment dans le cas de bâtiments historiques ou classés, on conservera l'ensemble châssis/vitrage existante et on le doublera par un châssis plus performant (côté intérieur).

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.8. Les protections solaires ou la gestion des gains solaires

Dans les locaux fortement vitrés et orientés à l'est, au sud ou à l'ouest, les gains solaires constituent souvent les apports gratuits les plus importants.

*Remarque:*

- l'orientation « ouest » est souvent la plus critique à mi saison ou en été, car les apports solaires viennent s'ajouter à la chaleur emmagasinée durant la journée ;
- les orientations « est » et « sud » peuvent être problématiques en termes d'éblouissement.

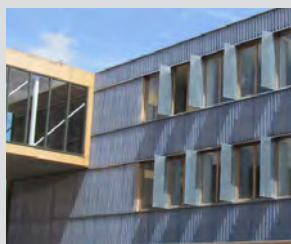
Le choix d'une protection solaire varie selon les objectifs que l'on se fixe. Les objectifs principaux sont de limiter les surchauffes et l'éblouissement. Les objectifs secondaires sont d'augmenter le pouvoir isolant de la fenêtre, d'assurer l'intimité des occupants ou d'occulter un local.

«Les protections solaires peuvent, si elles sont pensées en début de projet de rénovation, devenir une source d'inspiration et un atout dans la composition architecturale des façades. A contrario, une protection solaire qui est ajoutée en fin de conception ou en cours de chantier peut altérer l'esthétique de la façade.»

Source: Catherine Massart, *Conception de maisons neuves durables*, Architecture et Climat, 2010



© Petra Blauensteiner



© Atelier Alain Richard



#### → Limiter la surchauffe

En période d'ensoleillement, la quantité d'énergie solaire transmise au travers de vitrages peut entraîner par effet de serre, des surchauffes inadmissibles pour le confort des occupants. Dans le cas de locaux climatisés, la présence de protections solaires efficaces doit permettre une diminution notable de la quantité de froid à produire. Ce sont souvent les orientations est et ouest qui sont problématiques.

#### → Eviter l'éblouissement

L'éblouissement est une situation d'inconfort visuel qui empêche tout travail et apprentissage de qualité. En été, il est essentiellement dû à la position du soleil en début ou en fin de journée par rapport aux orientations est et ouest des vitrages. En hiver, par contre, l'orientation sud en journée risque d'être éblouissante.

#### 1.3.8.1. Indicateurs utiles

##### → Les caractéristiques du ou des bâtiments

Chaque projet de rénovation reste un cas particulier. Les gains solaires dont on souhaite se prémunir, sont fixés par la situation du ou des bâtiments existants mais également par les ombres portées par le contexte environnant (environnement construit et végétal). Le choix de la protection solaire, si elle est nécessaire, dépend également des caractéristiques du ou des bâtiments (volumétrie, disposition et orientation des fenêtres, inertie thermique, niveau et type de ventilation, niveau d'isolation,...).

##### → Le facteur solaire (g)

Le facteur solaire est le rapport entre l'énergie solaire entrant dans le bâtiment et l'énergie solaire reçue à la surface extérieure du bâtiment (surface vitrée). Cette grandeur représente en réalité le niveau de protection que le vitrage seul, la protection solaire seule ou l'ensemble du vitrage et de la protection offrent face aux surchauffes d'été. *Plus le facteur solaire g est grand, plus les gains solaires sont importants.*

##### → Le facteur d'ombrage

Le facteur d'ombrage est défini comme le pourcentage de surface opaque d'une protection solaire. C'est l'inverse du « pourcentage d'ouverture » (OF), grandeur qui est mentionnée dans la description de certains stores.

### → La transmission lumineuse

La transmission lumineuse  $t_l$  est le rapport entre la quantité de lumière naturelle entrant dans le bâtiment par l'intermédiaire du vitrage et la quantité de lumière reçue à la surface extérieur du vitrage. Cette grandeur caractérise la transparence du vitrage. *Plus la transmission lumineuse  $t_l$  est grande, plus le vitrage laisse la lumière pénétrer dans le bâtiment*

En rénovation de bâtiments scolaires, on cherchera toujours les solutions qui permettent une transmission lumineuse maximale pour assurer un éclairage optimal des locaux.

### 1.3.8.2. Les différentes protections solaires

Il existe de nombreux types de protection solaire : des protections permanentes (vitrages spéciaux), des protections solaires fixes (auvents, claustras,...), des protections solaires mobiles (stores int. ou ext., volets, panneaux coulissants,...). L'objectif de ce chapitre est de proposer des lignes de conduites permettant au concepteur de faire un choix optimum en fonction de l'orientation et des caractéristiques de la fenêtre notamment.

### → Protection intérieure ou extérieure?


Les protections solaires extérieures sont plus efficaces que les protections intérieures car elles évitent l'effet de serre derrière le vitrage. Si le choix se porte sur une protection solaire intérieure, elle doit être non absorbante et réfléchissante afin d'éviter cet inconvénient. Les protections solaires extérieures doivent résister aux intempéries et au vandalisme, surtout si elles se situent au rez de chaussée ou à hauteur d'homme. Elles résistent mieux aux contraintes mécaniques lorsqu'elles sont fixes.

*Dans certains cas et selon l'orientation de la fenêtre, il peut être intéressant de prévoir une protection extérieure et une protection intérieure (store intérieur). La protection solaire va jouer son rôle au printemps et durant les mois d'été en protégeant le local contre les gains solaires. A l'automne ou en hiver, lorsque les températures extérieures sont basses, le store intérieur va permettre de profiter des gains solaires tout en limitant le risque d'éblouissement.*

### → Protection fixe ou mobile?

Avoir la possibilité de moduler une protection solaire peut être intéressant car le besoin de protection d'une façade est variable tout au long de la journée et de l'année suivant son orientation. Pour s'adapter aux besoins, la modulation de la protection mobile peut être automatisée ou manuelle en faisant appel à la responsabilité des occupants. La protection fixe s'avérera opérante ou non selon l'orientation des fenêtres et de la position du soleil au cours du jour ou de l'année.

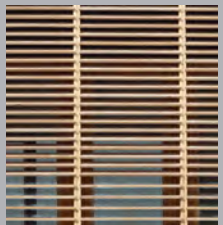
### → Protections permanentes et fixes

Types de protection	Avantages	Désavantages
<b>Protection permanente:</b> <i>Vitrages solaires ou films appliqués sur le vitrage</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N'obture pas la vue et diminue peu le passage de la lumière</li> <li>- Coût plus faible que pour un store extérieur</li> <li>- Pas de risque de panne, pas d'entretien, pas de manipulation</li> <li>- Facile à mettre en œuvre</li> <li>- Pas de risque de ponts thermiques ni de défauts d'étanchéité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection permanente</li> <li>- Efficacité plus faible qu'une protection classique</li> <li>- Coût plus élevé que pour un vitrage classique</li> <li>- Aspect « réfléchissant » ou teinté du verre</li> <li>- Vision vers l'extérieur altérée (rendu des couleurs)</li> </ul>
<b>Protection fixe</b> <i>Auvent horizontal, vertical, incliné...</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N'obture pas la vue et diminue peu le passage de la lumière</li> <li>- Permet les gains solaires en hiver</li> <li>- Pas de risque de panne, pas de manipulation</li> <li>- Coût réduit par rapport à une protection mobile (entretien et maintenance)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection optimale uniquement pour l'orientation sud</li> <li>- Réduction des gains solaires même en hiver</li> <li>- Réduction des apports de lumière naturelle</li> <li>- Risque de ponts thermique à la mise en œuvre</li> <li>- Entretien en fonction du type de matériau utilisé</li> </ul>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES


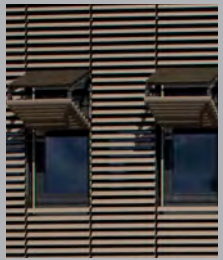
## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



<p><b>Protection solaire fixe</b> <i>Claustra ou élément fixe devant la fenêtre</i></p>  <p>Picture: Catherine Massart</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficacité importante</li> <li>- Possibilité de jeux de lumière</li> <li>- Création d'une certaine intimité</li> <li>- Pas de risque de panne, pas de manipulation</li> <li>- Coût réduit par rapport à une protection mobile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminue le passage de la lumière et réduit les vues</li> <li>- Gains solaires limités même en hiver</li> <li>- Entretien en fonction du type de matériau utilisé</li> </ul>
---	---	--

### → Protections solaires mobiles

Le principe de la protection mobile est de venir se placer devant la fenêtre quand le rayonnement solaire risque de provoquer une ou des surchauffes et d'être déplacée ou enlevée quand le risque disparaît.

Types de protection	Avantages	Désavantages
<p><b>Protection mobile</b> <i>Store extérieur, à enrouleur ou à lamelles</i></p>  <p>© www.renson.be</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapté aux besoins thermiques et visuels</li> <li>- N'obture la vue et ne réduit le passage de la lumière que lorsque le store est baissé</li> <li>- Permet les gains solaires en hiver</li> <li>- Mécanisation ou automatisation facile, généralement prévue par le fabricant</li> <li>- Création d'une certaine intimité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite un espace sur le dessus de la fenêtre pour l'implantation d'un caisson (dimension en fonction de la longueur du store)</li> <li>- Risque de pont faible au niveau de l'isolation lors de la mise en œuvre du caisson</li> <li>- Nécessite un profil latéral de guidage</li> <li>- Résistance mécanique au vent faible</li> <li>- Coût assez élevé</li> <li>- Entretien et nettoyage nécessaire</li> </ul>
<p><b>Protection mobile</b> <i>Panneaux coulissants ou pivotants</i></p>  <p>Picture: Catherine Massart</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adapté aux besoins thermiques et visuels</li> <li>- N'obture la vue et ne réduit le passage de la lumière que lorsque le panneau est devant la fenêtre</li> <li>- Permet les gains solaires en hiver</li> <li>- Impact esthétique important</li> <li>- Création d'une certaine intimité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite un espace de stockage quand le système n'est pas placé devant la fenêtre</li> <li>- Risque de pont thermique à la mise en œuvre</li> <li>- Nécessite un profil latéral de guidage</li> <li>- Le système peut être lourd à manipuler (en fonction de la taille de la fenêtre)</li> </ul>

### → Automatisation des protections mobiles

La plupart des fabricants de protections solaires mobiles proposent une automatisation de celles-ci. Cette automatisation se fait en général sur base d'une sonde de température intérieure et d'une mesure du rayonnement solaire. Dans le cas de stores extérieurs, une mesure de la vitesse du vent est aussi prise afin d'éviter tout dégât matériel ou mécanique. L'automatisation des protections n'est pas un impératif. Une gestion manuelle des occupants peut également être efficace, si ceux-ci sont conscients des risques de surchauffe et les anticipent. Par contre, les stores extérieurs risquant d'être endommagés par grand vent, seront de préférence automatisés.

### → Masques végétaux

L'utilisation de la végétation environnante caduque permet de moduler les apports solaires en fonction des saisons. L'intérêt d'une protection végétale réside dans le fait que son rythme végétatif annuel accompagne les besoins du bâtiment :

- en période estivale : l'ombre portée est rafraîchissante ;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

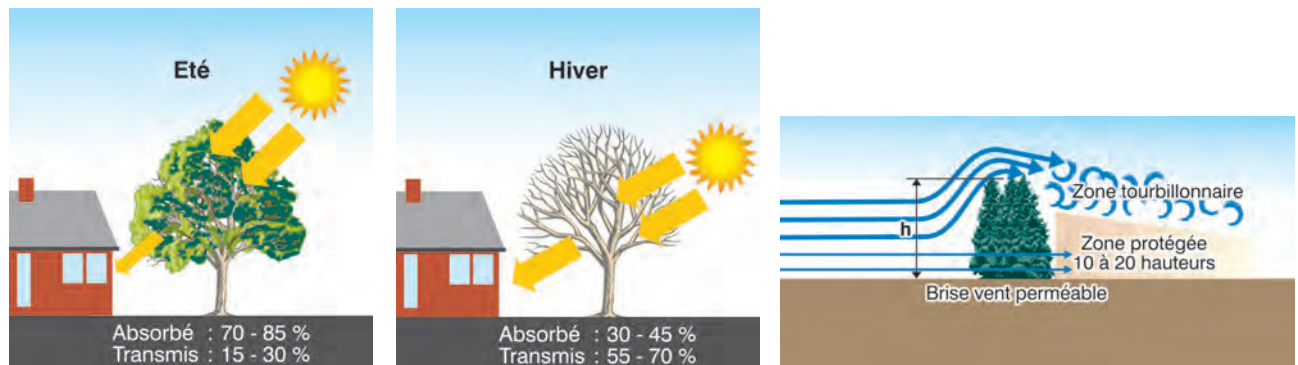
## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- en période hivernale : l'absence de feuilles permet au rayonnement solaire d'atteindre la façade ;

La végétation caduque, en orientation sud, a l'avantage d'apporter de l'ombrage aux façades, de filtrer les poussières, de protéger des vents chauds mais aussi d'oxygéner et rafraîchir l'air par évapotranspiration.

De plus, l'espace supplémentaire apporté des espaces végétalisés participe sensiblement au confort global de l'occupant : confort visuel renforcé, confort respiratoire amélioré, confort thermique,...



### 1.3.8.3. Protections solaires en rénovation

En tenant des objectifs prioritaires d'une protection solaire, le choix d'une protection solaire doit se faire :

- en fonction de l'orientation et la forme de la fenêtre ;
- en permettant aux différents locaux de bénéficier de la lumière naturelle en quantité suffisante

En rénovation, avant même d'étudier un système de protection solaire, il y a lieu de vérifier :

- si en fonction de l'orientation, la dimension de la fenêtre est en adéquation par rapport à la surface du local ;
- les caractéristiques du ou des vitrages (transmission lumineuse et facteur solaire)

#### → Dimensionnement

##### Auvent

Le pourcentage de protection solaire dépend de la hauteur du soleil (en fonction de la position géographique) de la position de la protection solaire par rapport à la fenêtre, le rapport entre la profondeur de la protection et la hauteur de la fenêtre ainsi que les dimensions, l'espacement et l'orientation des lames éventuelles.

Le facteur g d'une fenêtre avec auvent varie dans le temps. Il peut facilement être calculé avec le logiciel gratuit Parasol (téléchargeable sur [www.ebd.lth.se/english/software/parasol/](http://www.ebd.lth.se/english/software/parasol/) ).

##### Store extérieur à lamelles

Le facteur g dépend des dimensions, de l'espacement, de l'orientation, de la couleur et de la texture du matériau utilisé pour les lames. Il peut rapidement être calculé avec le logiciel gratuit Parasol (téléchargeable sur [www.ebd.lth.se/english/software/parasol/](http://www.ebd.lth.se/english/software/parasol/) ).

##### Store extérieur de type « screen »

Le facteur g est indépendant de la position du soleil. La plupart des fabricants renseignent le facteur g de l'ensemble (protection solaire et vitrage) avec plusieurs types de vitrages. Cette valeur tient également compte de l'effet négatif de la couche d'air chaud emprisonnée entre le vitrage et le store.



### 1.3.9. Limiter la surchauffe - l'inertie thermique en rénovation

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une paroi représente sa capacité à stocker et à restituer, avec un déphasage de temps, de la chaleur. Elle dépend des caractéristiques des matériaux en relation avec l'ambiance intérieure et de la « masse accessible à la chaleur ».

Associée à une protection solaire efficace et à une ventilation naturelle intensive, une forte inertie permet d'améliorer le confort d'été en limitant les surchauffes durant la journée. En hiver, la capacité de stockage de l'énergie solaire et de restitution progressive de celle-ci permet de valoriser au mieux les gains solaires et de faciliter la régulation du système de chauffage.

#### 1.3.9.1. Indicateurs utiles

L'inertie thermique d'une paroi est définie par la capacité thermique et l'effusivité des différents matériaux qui la composent.

##### → Caractéristiques statiques

#### Densité $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]

*Masse par unité de volume du matériau.* De manière générale, plus un matériau est lourd, plus sa capacité thermique augmente.

#### Chaleur spécifique ou chaleur massique $C$ (kJ/kg.K)

*Quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1K la température de 1kg de matériau.* La chaleur spécifique d'un matériau est donc sa capacité à stocker la chaleur, exprimée par rapport à la masse de matière.

#### Capacité thermique $\rho C$ (kJ/m<sup>3</sup>.K)

*Quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1K la température de 1m<sup>3</sup> de matériau.* La capacité thermique d'un matériau est donc sa capacité à stocker la chaleur, exprimée par rapport au volume de matière.

#### Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)

*Quantité de chaleur qui traverse un matériau sur 1 mètre d'épaisseur pour une surface de 1m<sup>2</sup> avec une différence de température de 1K entre les deux faces du matériau.* La conductivité thermique d'un matériau est donc sa capacité à transmettre de la chaleur par conduction.

##### → Caractéristiques dynamiques

#### Effusivité thermique $E$ (W/m<sup>2</sup>.K).h<sup>-1/2</sup>)

*Rapidité d'absorption d'un flux thermique instantané (par la surface d'une paroi)*

$$E = (\lambda \rho C)^{1/2}$$

#### Diffusivité thermique $D$ (m<sup>2</sup>/h or m<sup>2</sup>/s)

*Rapidité avec laquelle la chaleur se propage par conduction à travers un matériau*

$$D = \lambda / (\rho.C)$$

Les matériaux qui amènent une forte inertie sont donc des matériaux qui ont une densité, une chaleur massique et un coefficient de conductivité thermiques élevés ou une effusivité élevée.

#### 1.3.9.2. Caractéristiques physiques de certains matériaux

Dans le cas d'une rénovation de bâtiments scolaires, afin de maximiser l'inertie thermique, on veillera, dans le choix des matériaux de parachèvement et de finition, à introduire un maximum de masse. Les matériaux à forte effusivité sont les plus intéressants.

Les premiers centimètres de matières en contact avec l'ambiance intérieure ont le plus d'impact en matière d'inertie. Cependant, la masse située au-delà de 10 cm de profondeur joue encore un rôle, même si celui-ci est moins important.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Matériau	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)	Capacité thermique C (kJ /kg.K)	Densité $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Diffusivité D (m <sup>2</sup> / s)	Effusivité E ((W/m <sup>2</sup> .K) <sup>1/2</sup> )
<b>Matériaux en contact direct avec l'ambiance intérieure</b>					
<b>SOL</b>					
Marbre	3.5	1.00	2800	16.20	52.17
Pierre bleue belge	2.9	1.00	2687	13.99	46.52
Chape béton poli	2	1.00	2275	11.39	35.55
Carrelage en grès	1.2	1.00	2000	7.78	25.82
Carrelage en terre cuite	0.81	1.00	1700	6.18	19.56
Vynil					
Linoleum	0.17	1.40	1200	1.31	8.91
Plancher	0.13	1.88	525	1.71	5.97
<b>MURS</b>					
Enduit chaux	0.70	0.85	1600	6.67	16.26
Enduit Plâtre	0.4	1.00	850	6.10	9.72
Plaque de fibro-plâtre	0.32	1.10	1150	3.28	10.60
Plaque de carton-plâtre	0.25	1.00	800	4.05	7.45
<b>Matériaux structurels (à l'arrière ou en-dessous d'un matériau de parachèvement ou de finition)</b>					
<b>SOL</b>					
Chape béton	0.37	0.84	1200	4.76	10.18
Panneau particules bois	0.15	1.88	600	1.72	6.86
<b>MURS</b>					
Blocs silico-calcaire	1.00	1.00	1750	7.41	22.05
Blocs béton	1.07	1.00	1200	11.56	18.89
Blocs terre cuite	0.28	1.00	850	4.27	8.13
Blocs béton cellulaire	0.16	1.00	450	4.61	4.47
<b>Matériaux d'isolation</b>					
Panneaux de fibres de bois	0.04 - 0.05	2.1	140 - 240	1.03 - 2.2	1.81 - 2.65
Laine de cellulose	0.035 - 0.055	2.1	50 - 150	1.44 - 6.79	1.01 - 2.19
Laine de bois	0.04	2.1	75	3.29	1.32
Cellulose en vrac	0.04	2.1	45 - 60	5.49 - 4.11	1.02 - 1.18
Liège					
Laine de roche	0.04	1.03	40 - 100	12.58 - 5.03	0.68 - 1.07
Laine de verre	0.04	1.03	25 - 50	20.13 - 10.06	0.53 - 0.76
Laine de chanvre	0.06	1.1	30	23.56	0.74
Polystyrène extrudé	0.028 - 0.038	1.45	38	6.59 - 8.94	0.65 - 0.76

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Polystyrène expansé	0.031 - 0.045	1.45	25	11.08 - 16.09	0.56 - 0.67
Polyuréthane	0.023 - 0.029	1.4	30	7.09 - 8.95	0.52 - 0.58

Source: Catherine Massart, Conception de maisons neuves durables, Architecture et Climat, 2010

De manière générale, dans le cas d'une rénovation, les éléments structurels (murs porteurs, dalle de sol...) sont conservés. C'est donc principalement le type de finition employée dans la rénovation qui aura un impact sur l'amélioration de l'inertie du bâtiment. Le choix des matériaux de parachèvement et de finition aura aussi une influence sur l'acoustique et le confort visuel (choix des couleurs et textures) des locaux mais également une influence sur l'environnement et la santé des personnes. Il est ainsi essentiel, dans un concept global de la rénovation soutenable, de trouver le meilleur compromis entre ces différents paramètres.

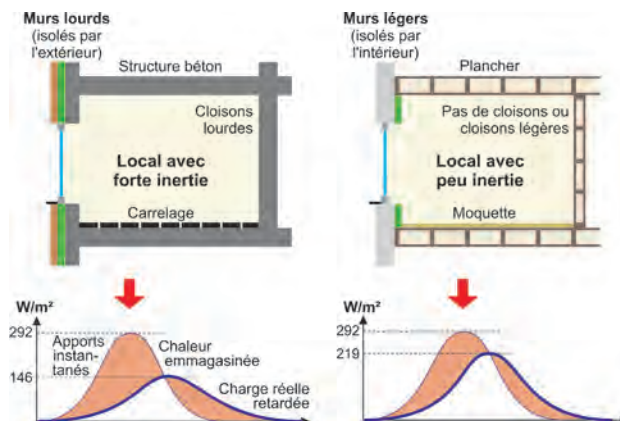
### 1.3.9.3. Rôles et impact de l'inertie

#### → Inertie et surchauffe

L'inertie facilite la limitation des surchauffes en emmagasinant une partie de la chaleur excédentaire et en la restituant progressivement et de manière décalée. Une ventilation naturelle intensive de nuit, combinée à une forte inertie, permet de dissiper la chaleur excédentaire grâce à un apport d'air frais.

#### → Inertie et chauffage

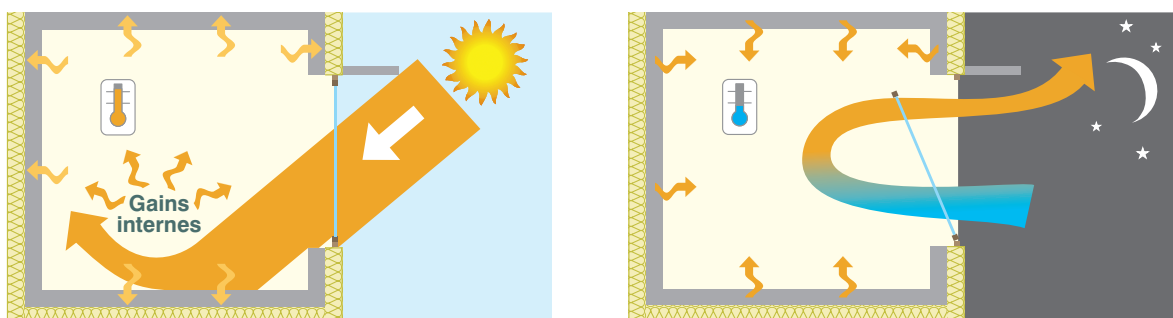
Une inertie thermique importante permet de valoriser au mieux les gains solaires et les gains internes et de réduire le



besoin net de chauffage. Cette diminution du besoin net de chauffage s'avère cependant peu importante mais peu devenir proportionnellement non négligeable dans le cas de bâtiments devenus performants après rénovation. Une inertie thermique importante permet une régulation plus facile et plus économique du système de chauffage.

### 1.3.9.4. Augmenter l'inertie du bâtiment en rénovation

La capacité d'absorption de chaleur d'une paroi dépend des paramètres physiques cités plus haut mais également



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- de sa couleur : plus une paroi est foncée, mieux elle stocke la chaleur ;
- de sa finition ou texture : plus une paroi est rugueuse, mieux elle stocke la chaleur ;
- de sa situation dans le local ou le bâtiment : les parois les plus exposées au rayonnement direct sont les parois qui ont le plus d'influence.

### → Le rôles des parois

Toutes les parois d'une pièce ou d'un local ne jouent pas un rôle équivalent vis-à-vis de l'ambiance thermique de celui-ci. Si l'on souhaite d'une part profiter au maximum des gains solaires en mi saison ou en hiver et d'autre part limiter les risques de surchauffe en été, on essaiera d'augmenter l'inertie de la dalle de sol et des planchers intermédiaires qui reçoivent la plus grande partie du rayonnement direct.

Si l'on souhaite travailler avec une ventilation naturelle intensive de nuit, on essaiera d'augmenter l'inertie de l'ensemble des parois.

### → Augmenter l'inertie de la dalle de sol

De manière générale, la dalle de sol est conservée lors de la rénovation de bâtiment. Afin d'améliorer les performances thermique du bâtiment, on isolera celle-ci si elle ne l'est pas encore.

S'il y a possibilité, on placera de préférence la couche isolante sous la dalle de sol de manière à bénéficier de l'épaisseur complète de la dalle, de la chape et du revêtement de sol.

Si cette solution n'est pas envisageable, on travaillera avec une chape béton sur isolant et un revêtement à forte effusivité comme un carrelage ou une pierre naturelle, en tenant compte de la résistance (usure et chocs), de la couleur et de la texture du revêtement.

### → Augmenter l'inertie des planchers intermédiaires

Augmenter l'inertie des planchers intermédiaires signifie apporter de la masse supplémentaire à ceux-ci, soit avec le revêtement de finition, soit avec une nouvelle chape béton ou une chape sèche, soit avec un litage (dans le cas de planchers en bois).

On peut également renforcer l'inertie des planchers intermédiaires en choisissant des matériaux isolants à forte effusivité tels que les fibres de bois et la cellulose.

### → Ajout de nouvelles cloisons intérieures et renforcement des cloisons existantes

Dans tout projet de rénovation, on démolit des cloisons intérieures et on en construit des nouvelles.

Dans le cas d'ajout de nouvelles cloisons, on veillera à travailler avec des cloisons lourdes (blocs pleins), si la structure du bâtiment le permet.

On peut également renforcer la masse des cloisons existantes par l'utilisation de panneaux de revêtement lourds (plaque de fibro-plâtre dans le cadre de cloisons acoustiques) ou par l'utilisation d'enduits à forte effusivité.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.3.10. Dissiper la surchauffe- ventilation naturelle intensive en rénovation

Dans le cadre d'une stratégie du froid, une ventilation naturelle intensive (free-cooling en anglais) permet de rafraîchir l'ambiance et la masse des locaux, essentiellement la nuit mais également en journée. Combinée à une forte inertie thermique, c'est un élément clé du confort d'été.

#### 1.3.10.1. Notions de base

La ventilation naturelle intensive consiste à refroidir un bâtiment par ventilation en utilisant l'énergie gratuite de l'air extérieur lorsque celui-ci présente une température inférieure à la température intérieure :

- en hiver, de l'air frais extérieur peut alimenter, en journée, les zones à rafraîchir sans nécessiter l'utilisation d'un système de climatisation ;
- en été, une ventilation nocturne peut décharger le bâtiment de la chaleur accumulée en journée

La ventilation intensive de jour peut donc être une solution en hiver, mais a ses limites en mi saison et en été car la différence de température entre intérieur et extérieur n'est pas assez élevée et nécessite des taux de renouvellement d'air trop élevés.

La ventilation naturelle intensive ne doit pas être confondue avec la ventilation hygiénique qui assure le renouvellement d'air nécessaire à la qualité de l'air intérieur et au confort respiratoire. Les débits d'air d'une ventilation intensive sont beaucoup plus importants : 8 - 10 renouvellements horaires dans les locaux inoccupés et autour de 4 renouvellements horaires dans les locaux occupés, pour éviter les courants d'air désagréables.

La ventilation intensive répond à plusieurs objectifs : évacuer la chaleur excessive due aux gains internes et/ou solaires , décharger thermiquement la masse du bâtiment, améliorer la sensation de confort thermique des occupants en période de surchauffe mais aussi évacuer les polluants et/ou odeurs d'un local qui a subi une forte occupation ponctuelle.

La ventilation naturelle intensive ne pourra se faire que sous certaines conditions :

- le contexte extérieur n'est pas défavorable (nuisance importante de bruits, pollution importante de l'air... ;
- la température de l'air extérieur doit être inférieure à la température de l'air intérieur – ce qui est toujours le cas durant la nuit.

Lorsqu'on décide de travailler avec une ventilation naturelle intensive, on veillera également à ne pas réduire la sécurité du bâtiment en assurant une bonne protection contre l'intrusion.

#### → Principe de fonctionnement

Le principe de la ventilation naturelle intensive est de créer des mouvements d'air permettant de rafraîchir le bâtiment, de jour comme de nuit. Pour ce faire, la ventilation naturelle intensive utilise deux « moteurs » :

#### **Le tirage thermique ou l'effet cheminée**

La différence entre les densités de l'air intérieur et l'air extérieur provoque un tirage thermique qui fait monter l'air chaud et humide et descendre l'air froid et sec. Ce tirage thermique peut avoir lieu au sein d'un même local ou sur l'ensemble d'un bâtiment. On parle alors de « l'effet cheminée ». Ce système, s'il peut être implanté dans un bâtiment existant, est le plus efficace. Il permet un renouvellement d'air de 6 à 7 vol/h.

Il est cependant indispensable de prévoir des ouvertures de transfert entre les locaux et l'extraction.

Cet effet de cheminée peut également être assisté par un ventilateur d'extraction. Ce dernier peut être le ventilateur d'extraction hygiénique fonctionnant en petite vitesse en journée et en grande vitesse la nuit.

*En rénovation, cette solution demande des aménagements plus importants de la structure du bâtiment (perçage de chaque plancher, ...) et n'est pas toujours compatible avec les normes de prévention « incendie »*

#### **Le vent**

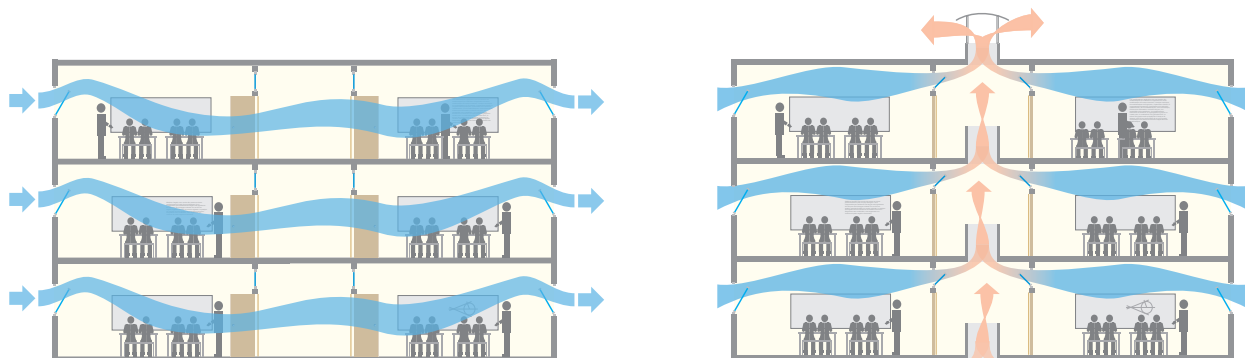
La pression de la façade au vent est supérieure à la pression sur les autres façades. Cette différence de pression induit un déplacement transversal de l'air de la haute vers la basse pression si le local ou le bâtiment dispose d'ouvertures dans deux parois ou deux façades. Ce système permet un renouvellement d'air de 3 vol/h.

Pour le bon fonctionnement d'une ventilation transversale, le tirage thermique et l'effet du vent ne doivent pas s'opposer mais au contraire se renforcer.

Une ventilation transversale n'est possible que si les portes intérieures restent ouvertes durant la nuit. A défaut, on peut imaginer le placement de grilles de transfert dans les portes ou des petites fenêtres ouvrantes au-dessus de celles-ci. Pour la réussite totale de ce type de refroidissement, il est essentiel que les occupants soient clairement informés de leur rôle dans la gestion du confort.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Spécificités des ouvertures

Dans les deux types de conception (transversale ou effet de cheminée), les ouvertures utilisées pour la ventilation naturelle intensive devront limiter au maximum le risque d'intrusion, être suffisamment robustes pour résister à des vents importants et empêcher la pénétration d'eau en cas d'orage ou de forte pluie.

### → Dimensionnement

Pour quantifier une ventilation naturelle, on définit :

#### **Le débit de ventilation [m<sup>3</sup>/h]**

Le débit de ventilation est le volume d'air entrant, égal au volume d'air intérieur évacué par heure.

#### **Le taux de renouvellement d'air [1/h]**

Le taux de renouvellement d'air est le nombre de fois par heure où le volume d'air d'un local ou d'une partie de bâtiment est renouvelé par de l'air extérieur. C'est le rapport entre le débit total entrant (= débit sortant) et le volume du local ou de la partie de bâtiment.

Dimensionner une ventilation naturelle consiste à dimensionner les ouvertures pour atteindre un certain débit de ventilation. Les ouvertures de ventilation devront être égales à minimum 2 % de la surface des locaux. Si elles sont inférieures à 2%, les débits sont insuffisants ; si elles sont supérieures à 2%, elles augmentent le risque d'effraction.

### → Régulation et automatisation

Pour éviter le coût d'une robotisation des ouvertures et pour sensibiliser les enseignants et les élèves, on peut être tenté par une régulation manuelle des ouvertures. Cette dernière ne sera efficace que si les enseignants et les élèves sont clairement informés de leur rôle à jouer dans la gestion du confort et de ce type de ventilation. Cependant pour des raisons de sécurité, nous déconseillons la régulation manuelle dans le cas d'une rénovation d'école.

En effet :

- tous les locaux scolaires ne sont pas occupés en même temps et au moment où il faut ouvrir ou fermer les fenêtres ;
- en cas d'intempéries en soirée ou durant la nuit, il faut pouvoir rapidement fermer les ouvertures, pour éviter tout dégât dû au vent ou à la pluie ;
- à mi saison ou au début de l'été, il est possible qu'une ventilation ininterrompue toute la nuit refroidisse trop le bâtiment, ce qui est inconfortable.

De plus une automatisation permet de lier la fermeture des ouvertures à une alarme électronique, limitant ainsi le risque d'intrusion dans des locaux inoccupés.

#### Remarque:

Les apports internes devront être limités à 22 - 26 W/m<sup>2</sup> pour un immeuble à inertie thermique moyenne et à 27 - 32 W/m<sup>2</sup> pour un immeuble à forte inertie thermique. Ceci implique l'utilisation d'équipements énergétiquement efficaces, en éclairage artificiel notamment.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.4. Améliorer le confort visuel dans les locaux de classe

#### 1.4.1. La stratégie de la lumière naturelle

La stratégie de la lumière naturelle regroupe différents concepts complémentaires:

##### → Capturer un maximum de lumière naturelle

La lumière naturelle varie en intensité et en couleur. La quantité de lumière naturelle qui pénètre dans un bâtiment dépend de nombreux facteurs liés à l'implantation géographique, à l'environnement physique du bâtiment, aux différents moments de la journée et de l'année mais également aux types d'ouvertures dans le bâtiment (orientation, inclinaison, dimension).

##### → Transmettre la lumière naturelle dans l'espace de vie et de travail

Transmettre la lumière naturelle dans l'espace de vie ou de travail signifie faire rentrer un maximum de lumière naturelle et ce, en travaillant sur les caractéristiques de la fenêtre (orientation, dimensions, type de vitrage, type de protection solaire,...) et sur l'aménagement intérieur des pièces (dimensions, aménagement intérieur,...)

##### → Distribuer la lumière naturelle dans l'espace habitable

Distribuer la lumière naturelle consiste à créer une bonne répartition de celle-ci dans l'espace habitable. Cette répartition harmonieuse de la lumière sera favorisée par la répartition des ouvertures, l'agencement des parois intérieures et les matériaux utilisés pour les finitions intérieures (sol, murs, plafond).

##### → Contrôler ou se protéger de la lumière naturelle

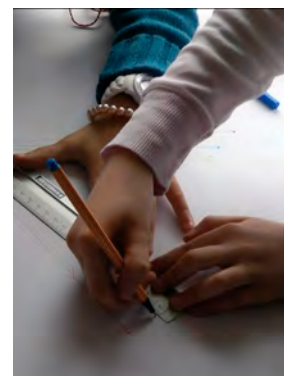
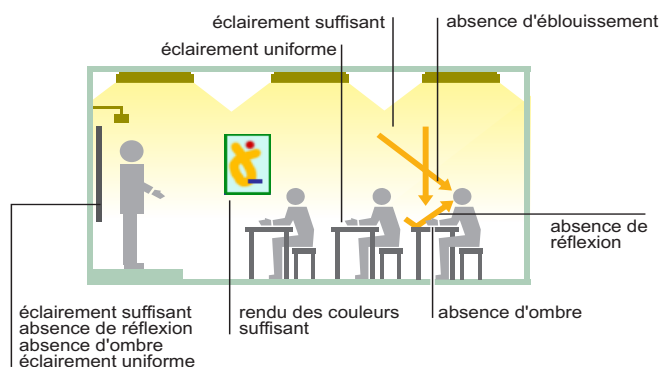
Contrôler la lumière naturelle consiste à gérer la quantité et la distribution de la lumière dans une pièce en fonction des conditions climatiques, des besoins de l'occupant et de l'ambiance intérieure que l'on souhaite créer.

Contrôler la lumière naturelle consiste aussi à arrêter partiellement ou totalement le rayonnement solaire lorsqu'il entraîne certaines nuisances dans l'utilisation d'un local. Dans le cas du confort visuel, il s'agit essentiellement de se protéger de l'éblouissement lorsque le soleil est bas sur l'horizon et pénètre profondément dans le local.

Cette protection à l'éblouissement peut être réalisée grâce notamment à des stores intérieurs ou extérieurs.

Dans le cadre de la rénovation de bâtiments scolaires, améliorer le confort visuel signifie travailler sur les paramètres suivants :

- Offrir à chaque local une ou plusieurs vues sur l'extérieur. Pour les locaux de classe, on privilégiera une vue vers les espaces de récréation ou les espaces verts ;
- Offrir à chaque local un niveau d'éclairage suffisant et confortable ;
- Permettre une répartition harmonieuse de la lumière et un éclairage uniforme par un choix adapté des fenêtres et des revêtements intérieurs du local ;
- Eviter autant que possible l'éblouissement et/ou une ombre portée.



Images: Sylvie Rouche

#### 1.4.2. Notions de base

La rédaction de ce chapitre s'est fortement basée sur les principes théoriques de la lumière et l'éclairage naturel du site Energie + (<http://www.energieplus-lesite.be>)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.4.2.1. L'éclairage naturel et ses variations

La lumière naturelle varie en intensité et en couleur. Plusieurs paramètres influencent sa quantité et sa qualité :

- **le type de ciel** : ciel couvert, ciel clair, ciel clair avec soleil
- **le moment de l'année**
- **l'heure**: par ciel clair avec soleil, la répartition lumineuse varie fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre du local. La lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue ;
- **l'orientation des ouvertures du local**: la gestion de l'orientation et le dimensionnement des fenêtres se fait selon la course du soleil. Celle-ci est différente si l'on se trouve dans l'hémisphère nord ou l'hémisphère sud.

Les prescriptions proposées ci-après peuvent être utilisées pour l'hémisphère nord;

Les ouvertures orientées au sud offrent la meilleure situation puisqu'elles captent un maximum de rayons solaires en hiver et durant l'entre-saison et qu'en été, il est plus facile de se protéger du soleil au sud puisqu'il est plus haut dans le ciel. La façade sud apparaît donc comme l'orientation privilégiée pour capter la lumière naturelle.

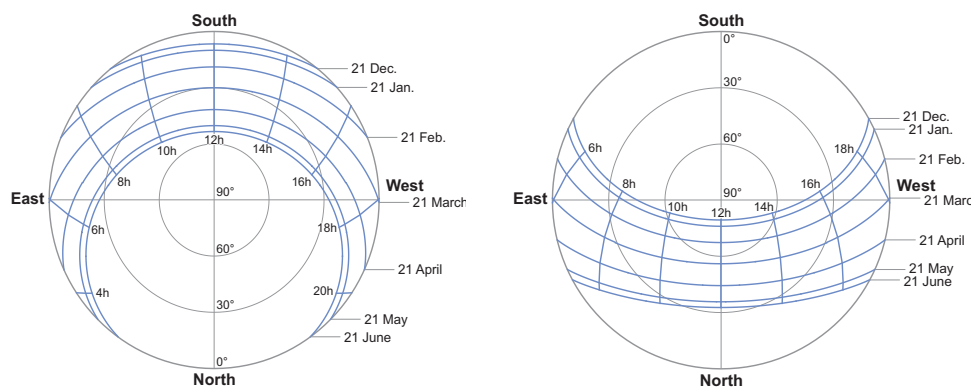
Les locaux orientés au nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, elles peuvent devenir une source d'éblouissement, difficile à contrôler car le soleil est bas. Il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse, ce qui est préférable pour certaines activités comme un atelier de peinture, par exemple.

Les locaux orientés à l'est bénéficient du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation sud, ce qui est peu intéressant.

Une orientation ouest assure une exposition solaire directe en soirée. Il est très intéressant d'orienter à l'ouest les locaux où l'on souhaite un éclairage doux et chaleureux. Toutefois, il y a un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes. En effet, les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains solaires l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime

- **l'inclinaison et l'implantation des ouvertures (pour l'hémisphère nord)**
- **l'environnement et ses caractéristiques**

La lumière disponible dépend de l'environnement direct du bâtiment par le jeu de différents paramètres : le relief du terrain, les constructions voisines, le coefficient de réflexion du sol, la végétation,.... Ces éléments ne doivent pas être négligés; la présence d'un gratte-ciel, d'un lac ou d'un arbre peut radicalement transformer la lumière d'un espace. On appelle «masque solaire» tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface que l'on désire ensoleiller. En ville, en hiver, il est parfois difficile de capter quelques rayons solaires à cause des bâtiments voisins qui leur font écran.



### 1.4.2.2. Caractéristiques de base du confort visuel

#### → L'éclairage

L'éclairage est la quantité de flux lumineux (lumière) reçu par une surface. Il se mesure en lux :  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

Exemples:

- Surface de travail dans un bureau : de 300 à 1000 lx
- Sol extérieur par ciel couvert : de 5000 à 20 000 lx
- Sol extérieur par ciel clair : de 7000 à 24 000 lx

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- Surface perpendiculaire au soleil d'été : 100 000 lx

Un niveau d'éclairement minimum est nécessaire pour voir correctement et sans fatigue les objets et, ainsi, effectuer correctement les différentes tâches. Dans les classes, un éclairage suffisant permettra une bonne vision nécessaire aux différentes tâches des élèves et facilitera l'accommodation rapide de l'œil pour passer de l'une à l'autre : lecture ou écriture d'un document disposé sur la table, lecture de ce qui est écrit au tableau (noir, vert ou blanc), lecture de cartes ou de panneaux affichés, regard prolongé vers le professeur ou vers un autre élève, travail sur ordinateur,...

### → La luminance

La luminance est l'intensité effective perçue par l'œil humain. C'est l'éclat/ la brillance d'une surface éclairée ou d'une source lumineuse telle que perçue par l'œil humain. Elle est exprimé en candelas par m<sup>2</sup> (cd / m<sup>2</sup>). C'est la mesure la plus représentative de la qualité de l'éclairage. Elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil.

Exemples:

- Paysage de nuit: 10-3 cd / m<sup>2</sup>
- Paysage en pleine lune: 10-2 à 10-1 cd / m<sup>2</sup>
- Paysage couvert: 300 à 5000 cd / m<sup>2</sup>
- Lune: 2500 cd / m<sup>2</sup>
- Papier blanc -: environ 25.000 cd / m<sup>2</sup>
- Soleil: 1,5.10<sup>9</sup> cd / m<sup>2</sup>

### → Le facteur de lumière du jour

En éclairage naturel, l'exigence d'éclairage peut se traduire en valeur de «facteur de lumière du jour» (FLJ). Ce facteur est le rapport de l'éclairage naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) à l'éclairage extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en pourcentage. Dans les conditions de ciel couvert (ciel normalisé par la Commission Internationale de l'Éclairage), les valeurs du facteur de lumière du jour sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure du jour

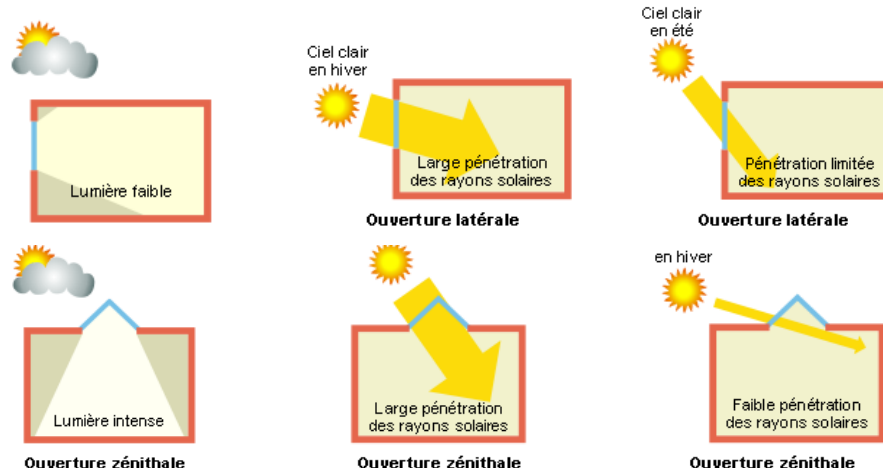
Exemple<sup>1</sup> :

- salle de cours : 2% < FLJ < 5%
- couloir : 1% < FLJ < 2%

Le FLJ doit être utilisé à bon escient car il a été développé en Angleterre qui est caractérisé par un ciel couvert une grande partie de l'année. Ce facteur est justifié pour les pays d'Europe du Nord et Europe centrale.

### → L'autonomie en lumière du jour

L'autonomie en lumière du jour ou daylight autonomy (DA) défini comme étant le pourcentage des heures occupées par an, où le niveau minimum d'éclairage requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. **Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60 % (pour un horaire de 8h00 à 18h00).** Une autonomie en lumière du jour de 60 % pour un lieu de travail occupé en semaine de 8 h à 18 h. et un éclairage minimum de 500 lux implique que l'occupant est en principe capable de travailler 60 % de l'année uniquement avec de l'éclairage naturel. Plus l'autonomie en lumière du jour est élevée, plus le temps d'utilisation des locaux avec la lumière naturelle est élevée, limitant ainsi la consommation d'éclairage artificiel.





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → La répartition de la lumière et uniformité

Si le niveau d'éclairement et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. L'acuité visuelle est diminuée, engendrant ainsi une fatigue de l'œil.

La répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairement caractérise les variations du niveau d'éclairement et est définie comme étant le rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen observé dans la zone de travail.

### Uniformité recommandée en fonction du type de travail à effectuer

L'uniformité de la zone de travail varie de 0,4 à 0,7 en fonction de la nature de la tâche réalisée.

*Exemples taken from Standard EN 12-464-1 (2011):*

- Circulation areas: 0.4 uniformity
- School stairs: 0.4 uniformity
- Classrooms: 0.6 uniformity

### → Le rendu des couleurs

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle présente un spectre lumineux qui lui est particulier. La lumière naturelle, provenant du rayonnement du soleil et du ciel, présente un spectre visible (rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 760 nanomètres (nm)) de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre forme, par définition, la lumière dite blanche : c'est la seule qui permette à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances.

### → L'éblouissement

L'éblouissement est dû à la présence, dans le champ de vision, de luminances excessives (sources lumineuses intenses) ou de contrastes de luminance excessifs dans l'espace ou dans le temps. Suivant l'origine de l'éblouissement, on peut distinguer un éblouissement direct ou un éblouissement par réflexion.

En éclairage naturel, l'éblouissement peut être provoqué par la vue directe du soleil, par une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres, ou par des parois réfléchissant trop fortement le rayonnement solaire et provoquant des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces voisines. Il est intéressant de noter qu'une plus grande ouverture à la lumière naturelle cause moins d'éblouissement qu'une petite car elle augmente le niveau d'adaptation des yeux et diminue le contraste de luminance



Le rendu des couleurs - Images: © Verlichting in scholen», Vlaamse overheid



Eblouissement - Image: Catherine Massart - Coralie Cauwerts

### → Les ombres

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres marquées qui risquent de perturber le travail effectué. Une pénétration latérale de la lumière naturelle satisfait généralement à la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa direction et à sa composition spectrale. Le cas est idéal mais le niveau d'éclairement diminue dès qu'on s'éloigne des fenêtres.

### → La transmission lumineuse au travers d'un vitrage

Lorsque la lumière visible du soleil est interceptée par une paroi, une partie de la lumière est réfléchi (RL) vers l'extérieur, une partie est absorbée (AL) par les matériaux, une partie est transmise à l'intérieur. Le pourcentage de lumière transmis est appelé transmission lumineuse de la paroi, TL

### → Les caractéristiques propres au local

La volumétrie d'un local et les propriétés des parois influencent la qualité de la répartition du flux lumineux. Elles consti-



tuent l'environnement immédiat ou éloigné. Le flux lumineux au niveau d'une tâche résulte de la superposition de la lumière naturelle issue d'une ouverture dans une paroi externe verticale ou/et horizontale et la lumière artificielle.

### 1.4.3. Optimiser le confort visuel dans les locaux de classe

Dans le cadre de la rénovation de bâtiments scolaires, optimiser le confort visuel signifie travailler sur les paramètres suivants de manière à maximiser le confort lumineux et l'utilisation de la lumière naturelle dans les locaux de classe :

- Offrir à chaque local une ou plusieurs vues sur l'extérieur. Pour les locaux de classe, on privilégiera une vue vers les espaces de récréation ou les espaces verts ;
- Offrir à chaque local un niveau d'éclairage suffisant et confortable ;
- Permettre une répartition harmonieuse de la lumière et un éclairage uniforme par un choix adapté des fenêtres et des revêtements intérieurs du local ;
- Eviter autant que possible l'éblouissement et/ou une ombre portée

#### 1.4.3.1. Evaluer la qualité d'éclairage d'un local

Avant d'entreprendre des travaux de rénovation ou de réaménagement, il convient de savoir ce qui doit être optimisé en analysant l'ambiance lumineuse ou la qualité d'éclairage du local et en évaluant son niveau de confort.

Le niveau d'éclairage peut être évalué au moyen d'un luxmètre en différents points du local : bureau du professeur, tableau, et différents bureaux d'élèves.

Les étapes à suivre sont décrites dans l'annexe de la publication « Code de Bonne Pratique en Eclairage Intérieur » édité par l'Institut Belge de l'Eclairage, téléchargeable sur [http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=IBE-BIV\\_Code\\_de\\_bonne\\_pratique\\_12464\\_1.pdf&lang=fr](http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=IBE-BIV_Code_de_bonne_pratique_12464_1.pdf&lang=fr)

Le niveau d'éclairage recommandé se situe entre :

- 300 lux et 500 lux pour le bureau ou le plan de travail
- 500 lux pour le tableau
- 300 lux pour les autres zones dans la classe

Le facteur de lumière du jour (FLJ) recommandé se situe entre 2 et 5%<sup>2</sup>.

On sera également attentif aux couleurs des surfaces, à la couleur du tableau, à la surface, position et forme des fenêtres et à une possible obstruction des fenêtres par les tentures ou par panneaux d'affichage.

*Remarque : les ambiances lumineuses proposées par le projet de rénovation peuvent également être évaluées par simulation informatique au moyen de logiciels spécifiques ou par maquette*

#### 1.4.3.2. Types de classes et aménagement

Des lignes de conduites peuvent ensuite être proposées et ce en fonction de la typologie et de l'aménagement du local, de la proportion de surface vitrée et de la situation géographique du local et de son orientation. Nous avons basé notre réflexion sur les trois typologies de local présentés ci-après.

**Type 1:** espace extérieur – local de classe – circulation – espace extérieur

- Surface vitrée en adéquation avec la surface du local et sa profondeur
- Choix du vitrage
- Choix de l'agencement intérieur (couleurs de surface, choix du mobilier, choix du tableau)
- Création d'ouverture (en partie haute) entre le local et la circulation
- Réflexion sur les protections solaires en fonction de l'orientation

**Type 2:** espace extérieur – local – circulation – local – espace extérieur sur un niveau

- Surface vitrée en adéquation avec la surface du local et sa profondeur ;
- Choix du vitrage
- Choix de l'agencement intérieur (couleurs de surface, choix du mobilier, choix du tableau) ;
- Création d'une ouverture zénithale dans la zone de circulation ;
- Création d'ouverture (en partie haute) entre le local et la circulation
- Réflexion sur les protections solaires en fonction de l'orientation

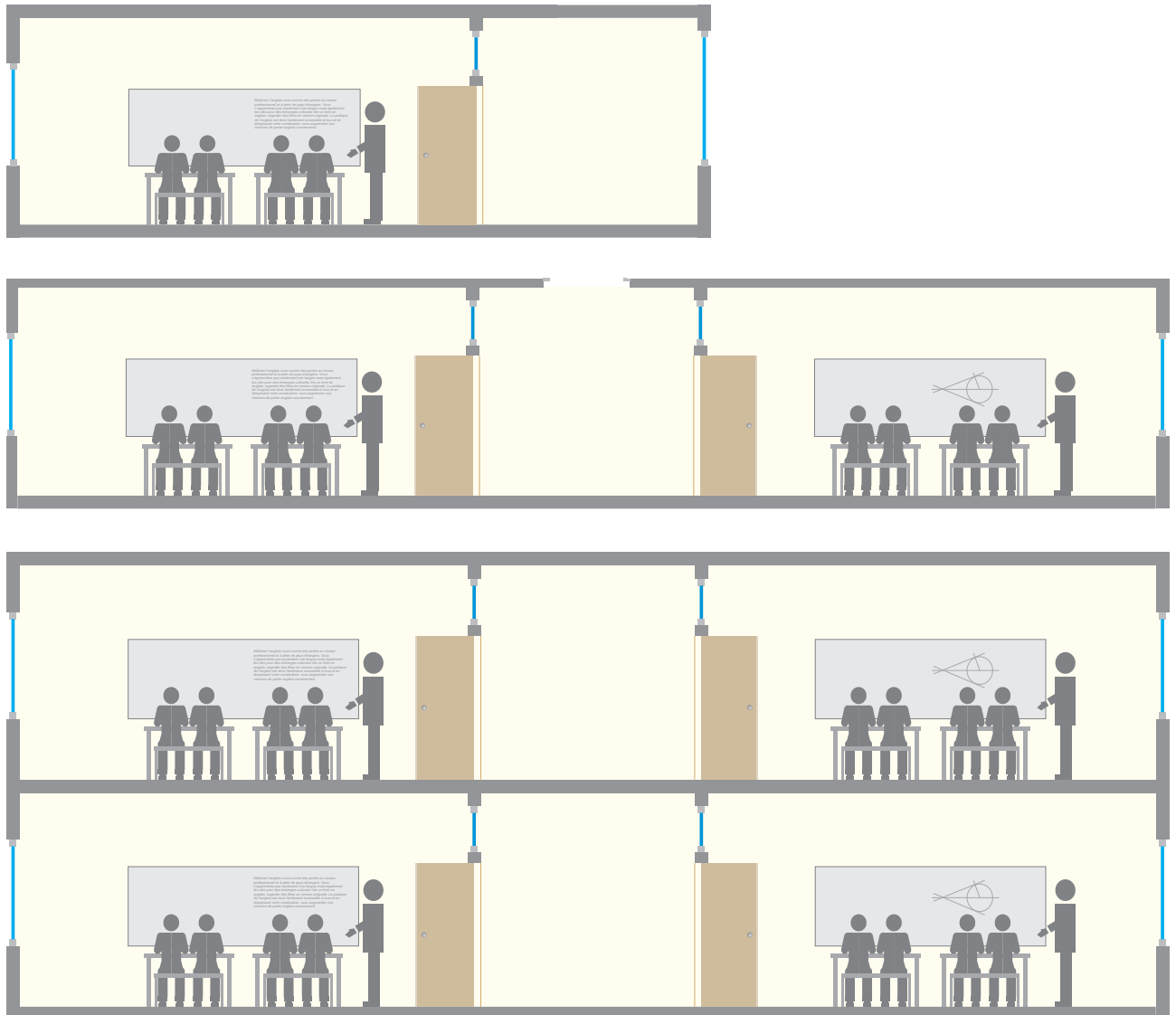
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



**Type 3:** espace extérieur – local – circulation – local – espace extérieur sur plusieurs niveaux

- Surface vitrée en adéquation avec la surface du local et sa profondeur ;
- Choix du vitrage
- Choix de l'agencement intérieur (couleurs de surface, choix du mobilier, choix du tableau) ;
- Réflexion sur les protections solaires en fonction de l'orientation



### 1.4.3.3. Améliorer l'éclairage naturel d'un local

#### → Optimiser la surface vitrée, forme et caractéristiques des composants

En rénovation, lorsque le niveau d'éclairément n'est pas suffisant, il peut être intéressant d'augmenter la surface des fenêtres afin de maximiser la quantité de lumière dans les locaux. Or, des considérations de confort thermique et d'économie d'énergie recommandent de limiter la surface vitrée.

Pour offrir un bon compromis entre pertes thermiques et qualité de l'éclairage naturel, la surface nette éclairante d'un local sera au minimum égale à 20% de la superficie du local avec des fenêtres idéalement positionnées c.-à-d. :

- des fenêtres situées le plus haut possible, sans allèges vitrées et offrant une vue sur l'extérieur ;
- des fenêtres larges avec un minimum de division (une seule grande fenêtre plutôt que plusieurs fenêtres étroites).

#### → Optimiser le choix du vitrage, dans le cas de nouveau châssis

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Dans le cas d'un remplacement de châssis ou de vitrage, on choisira des vitrages dont la transmission lumineuse est maximale :

- Double vitrage clair basse émissivité : transmission lumineuse de 78%
- Triple vitrage clair : transmission lumineuse de 74%

### → Optimiser l'aménagement ou l'agencement intérieur du local

L'aménagement peut influencer fortement l'ambiance lumineuse et le confort visuel. Il convient donc d'optimiser celui-ci.

### Couleur de surface

Plus les parois intérieures sont foncées, plus grand sera l'écart entre les niveaux d'éclairagements du local. En rénovation, il convient :

- de privilégier des revêtements de teinte claire qui rendent la pièce plus lumineuse ;
- diminuer les contrastes « fenêtre – menuiserie » en augmentant le coefficient de réflexion de la menuiserie et en choisissant un bois clair ou peint de couleur claire.

Pour les surfaces de murs, de plafonds et de sol, certains facteurs de réflexion peuvent être conseillés :

- plafond : de 0.7 à 0.85
- mur proche de la source lumineuse : de 0.5 à 0.7
- autre mur : de 0.4 à 0.5
- sol : de 0.1 à 0.3
- surface supérieure des bureaux : de 0.4 à 0.5

### Stores et rideaux

Des rideaux, stores ou voiles sont indispensables pour assurer l'intimité de la pièce et limiter le risque d'éblouissement. Mais ceux-ci peuvent réduire la transmission de la lumière. Il est donc essentiel d'intégrer l'emprise de rideaux ou de stores lors du dessin des ouvertures en façades.

### Blackboard or whiteboard

On sera également attentif au type de tableau installé dans les locaux de classe – blanc et brillant ou noir/vert mat. Les tableaux blancs sont de plus en plus souvent utilisés dans les écoles mais peuvent générer un inconfort par éblouissement.

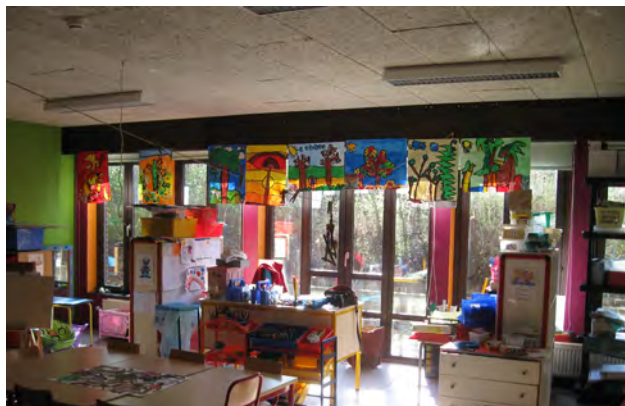


Image: Catherine Massart - Coralie Cauwerts



Image: Sylvie Rouche

### Emplacement mobilier

Selon le plan présenté à la page suivante, 3 zones peuvent poser problème dans l'aménagement du mobilier.

#### Zone 1 :

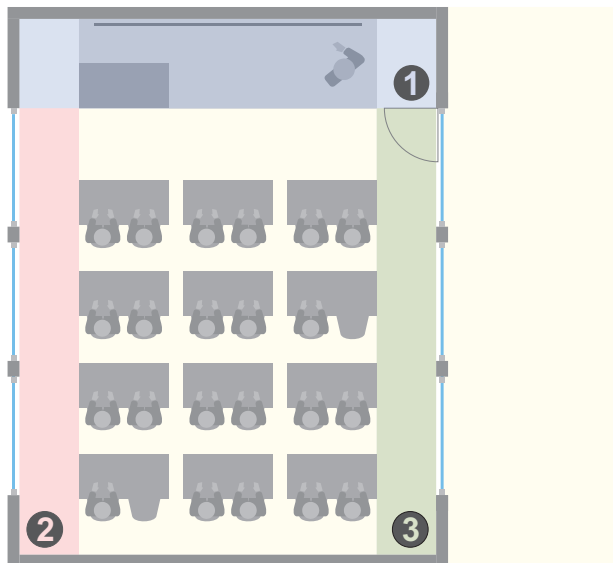
Zone autour du tableau, idéalement sans apport direct de lumière

#### Zone 2 :

Zone située le long des fenêtres sur une largeur d'environ 1 mètre. Idéalement aucun bureau ne doit être implanté dans cette zone afin d'éviter les problèmes d'éblouissement. Cette zone peut être utilisée pour des rangements bas, le long des allèges.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Zone 3 :

Zone le long du mur de séparation avec la circulation, généralement plus sombre. Cette zone doit être utilisée comme une zone de rangement : étagères, armoires, casier...

Idéalement les tables et bureaux doivent se situer au centre de ces trois zones.

### → Optimiser les gains solaires tout en limitant l'éblouissement (hémisphère nord)

La recherche de lumière naturelle peut entraîner des inconforts thermiques, notamment en été. Mais l'ajout de protections solaires peut également fortement réduire la transmission lumineuse.

Il convient de différencier les solutions en fonction des orientations:

#### Classe orientée au Nord (nord-ouest à nord-est)

Une protection solaire (fixe ou mobile) n'est pas recommandée. Les pièces orientées au nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et d'un rayonnement solaire diffus. Par contre, ce sont celles où les gains solaires sont les plus appréciés.

#### Classe orientée à l'Est (nord-est à sud-est)

Une combinaison intérieure et extérieure est la solution la plus intéressante. En effet, ces locaux profitent du soleil le matin ce qui :

- en hiver, permet d'apporter des gains solaires bénéfiques au chauffage en matinée. La protection solaire intérieure mobile permet dans ce cas de limiter l'éblouissement tout en conservant ces gains solaires
- en été, la protection solaire extérieure mobile permet à la fois de limiter l'éblouissement et l'apport de gains solaires

#### Classe orientée à l'Ouest (sud-ouest à nord-ouest)

Une protection solaire extérieure mobile est la solution la plus intéressante.

Une orientation Ouest aura tendance à induire davantage des surchauffes. En effet, les vitrages tournés vers l'Ouest apportent des gains solaires l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime.

#### Classe orientée au sud

Des protections solaires fixes du type auvent sont efficaces thermiquement et plus robustes que des protections mobiles. Elles sont donc à privilégier. On veillera cependant à ce qu'elles ne réduisent pas trop l'éclairage naturel, par exemple en préférant des auvents constitués d'un alignement de ventelles plutôt qu'un panneau plein.

### → L'entretien des surfaces vitrées

L'entretien des vitrages a un impact important sur la transmission lumineuse. Un nettoyage régulier est donc important. En rénovation durable, il est donc important de tenir compte de la nécessité d'accès à l'ensemble des surfaces vitrées.

Remarque : il existe des verres autonettoyants, qui permettent de réduire la fréquence des lavages, sans pour autant les supprimer complètement.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### *1.4.3.4. L'apport de l'éclairage artificiel*

Dans une démarche de rénovation durable, on privilégiera l'utilisation de la lumière naturelle à la place de l'éclairage artificiel. La qualité « spectrale » de la lumière naturelle ainsi que sa variabilité et ses nuances offrent une perception optimale des formes et des couleurs. Elle est essentielle au confort visuel et à la qualité d'apprentissage des enfants.

L'éclairage artificiel doit être donc considéré comme un complément à la lumière naturelle. Ce complément s'avère nécessaire à certaines périodes de l'année et doit donc être optimisé tant dans le choix et l'implantation des luminaires que dans la gestion de celui-ci de manière à limiter l'usage de celui-ci mais aussi à concilier confort visuel et performance énergétique.

Cette problématique est traitée dans la Section 2 « Techniques et efficacité énergétique ».

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

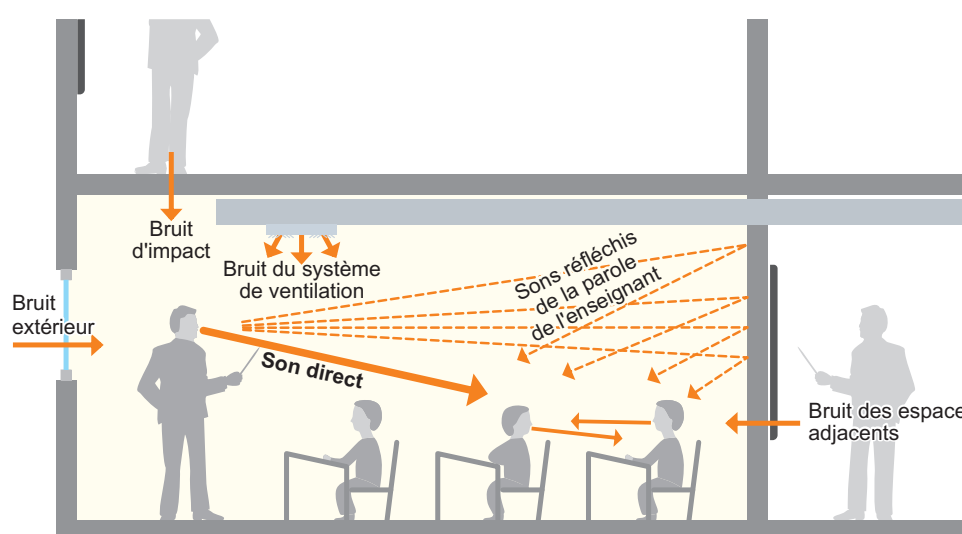


### 1.5. Assurer le confort acoustique dans les locaux de classe

#### 1.5.1. Notions de base

Avant de proposer des solutions permettant d'améliorer le confort acoustique dans les salles de classe des écoles en rénovation, il est important de procéder à des rappels sur l'acoustique dans le bâtiment. L'acoustique dans le bâtiment traite essentiellement les deux phénomènes suivants :

- l'isolation acoustique dont le but est de protéger les occupants d'un local contre le bruit généré à l'intérieur du bâtiment (bruits aériens ou bruits d'impacts de locaux adjacents ou bruits d'équipements) et contre les nuisances de bruit extérieures;
- la correction acoustique dont l'objectif est de corriger de façon harmonieuse les réverbérations du son à l'intérieur d'un local



Images: Sylvie Rouche

##### 1.5.1.1. Le son et le bruit

Le son est une sensation auditive engendrée par la vibration d'un corps solide qui fait fluctuer périodiquement la pression de l'air au niveau du tympan de l'oreille. Cette variation de pression se représente sous forme d'une onde sinusoïdale qui se propage dans toutes les directions à partir de la source et à des vitesses variables selon le milieu de propagation (air, eau, matière). La vitesse de propagation du son est de 340 m/s pour une température de 15°C. En été, le son se propage plus rapidement.

Un son pur est une vibration dans un milieu élastique caractérisé par sa fréquence ou sa hauteur et son amplitude ou son intensité. Le bruit est un mélange complexe de sons purs à fréquences et amplitudes différentes et multiples.

Il n'y a pas de différence physique entre un son et un bruit. La différence n'est que subjective, on associe généralement le bruit à toute sensation auditive gênante, désagréable et indésirable.

##### → La hauteur du son

La hauteur ou la fréquence d'un son est définie par le nombre de vibrations par seconde. La fréquence différencie les sons aigus et les sons graves:

- son grave ou basse fréquence (fréquence inférieure à 100 Hz)
- son moyen ou moyenne fréquence (fréquence allant de 100Hz à 2000 Hz)
- son aigu ou haute fréquence (fréquence supérieure à 2000 Hz)

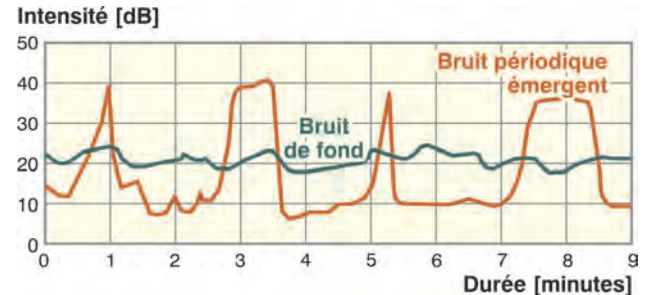
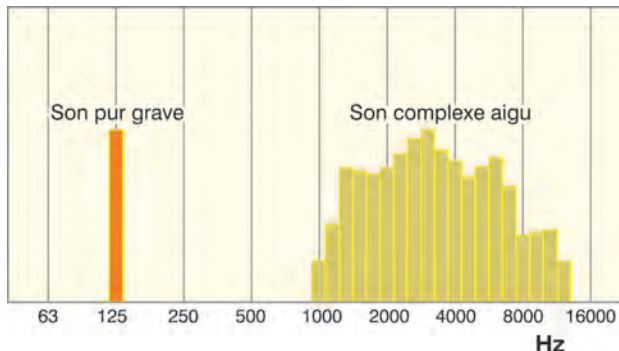
En acoustique du bâtiment, on considère un intervalle de fréquences comprises entre 100 Hz et 5000 Hz. La sensibilité de l'oreille moyenne va de 20 Hz à 20 000 Hz.

##### → L'intensité du son ou du bruit

Le décibel (dB) est l'unité définie pour caractériser l'intensité ou le niveau sonore du bruit. Le décibel est une unité de mesure logarithmique, car la réponse de l'oreille humaine à un stimulus est ultrasensible.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Les mesures en décibels pondérés  $A^3$ , dB(A) reflètent davantage la manière dont l'oreille perçoit de façon différenciée les fréquences. La sensibilité de l'oreille comme le seuil de la douleur, varie selon les fréquences. Elle est plus élevée pour les fréquences moyennes et aiguës que pour les fréquences graves ou très aiguës.

Les niveaux sonores variant dans le temps sont quantifiés par le niveau continu équivalent pendant une période donnée, appelé niveau (level) « L Aeq T » sonore équivalent en dB(A) pendant le temps T.

### → Arithmétique des sons

Le décibel étant une mesure logarithmique, l'addition, la soustraction et la multiplication des niveaux sonores ne se font pas de manière arithmétique. Diminuer la puissance sonore de moitié équivaut à réduire celui-ci de 3 dB mais il est cependant difficile de faire la différence entre deux lieux où le niveau sonore ne diffère que de 3 dB. Il faut en réalité une diminution de 10 dB pour que le son émis nous paraisse deux fois moins fort.

### 1.5.1.2. La perception du bruit – confort sonore

La sensibilité au bruit varie d'un individu à l'autre et n'est pas toujours prévisible. L'ambiance sonore, agréable ou désagréable, dans un lieu de vie ou de travail, s'articule autour de trois notions : la source du bruit, les phénomènes de transmission du bruit et la réception du bruit.

### → L'émergence

L'émergence est la quantité de bruit qui dépasse le niveau sonore ambiant. La gêne en émergence ne dépend pas uniquement du niveau sonore mais également du rapport entre le niveau sonore ambiant et niveau du bruit émergent.

### → La sensibilité personnelle

Quelle que soit la source et l'origine du bruit, nos oreilles perçoivent les vibrations de l'air et notre cerveau interprète ces stimuli. Cependant, un même bruit sera perçu différemment par deux personnes. En effet, la perception du bruit dépend notamment de l'état de santé de la personne (fatigue, stress, maladie,...) et de l'ambiance sonore dans laquelle elle se trouve (face d'une zone verte ou le long d'une artère animée,...).

### 1.5.1.3. Types de bruit

Le son ou le bruit est caractérisé par son mode de propagation. Les bruits d'impact où le son se propage dans des corps durs et les bruits aériens où le son se propage dans l'air. En acoustique du bâtiment, on distingue trois types de bruits :

### → Les bruits aériens

Les bruits aériens sont générés par des sources, intérieures ou extérieures au bâtiment, qui n'ont aucun contact avec un ou des éléments structurels. Les vibrations sonores naissent dans l'air et se propagent en utilisant l'air comme support.

Exemple :

- bruits aériens intérieurs : bruit de voix, conversation, musique,...

- bruits aériens extérieurs : bruit de trafic routier, bruit d'avion, bruits d'enfants dans la cour de récréation

### → Les bruits de choc ou d'impact

Les bruits de choc ou d'impact sont générés par des sources qui sont liés à la structure du bâtiment ou qui la heurtent violemment. Les vibrations prennent forme au sein de la structure à l'occasion d'un choc plus ou moins violent. Les bruits sont émis par la mise en vibration d'une paroi.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Exemple : chute d'objets, claquement de porte, bruit de pas,...

### → Les vibrations ou bruits d'équipement

Les bruits d'équipements sont constitués de bruits aériens et de vibrations. Certaines vibrations sont directement émises et transmises par leurs supports (murs, planchers...) et d'autres par l'air, selon l'orientation et la direction de leur source.

Exemple : bruits d'équipements sanitaires, de chauffage, de ventilation, d'appareils électriques...



### 1.5.1.4. La propagation du bruit

La propagation d'un son ou d'un bruit est le chemin parcouru par les ondes émises par la source sonore pour atteindre notre oreille. La vitesse de propagation dépend du milieu dans lequel le son ou le bruit est émis ; dans l'air à une température de 15°C, la vitesse de propagation est de 340m/seconde. Lorsqu'un son atteint une paroi (sol, mur, plafond), trois phénomènes peuvent se produire :

- la transmission du bruit au travers de la paroi (3)
- la réflexion ou réverbération du bruit sur la paroi (2)
- l'absorption du bruit par la paroi (4)

### → La transmission du bruit

Qu'il soit aérien ou transmis par les vibrations des parois, le bruit se propage dans le logement selon un chemin plus ou moins complexe entre la source et l'oreille de l'occupant. A travers le bâtiment, le bruit peut rencontrer des obstacles qui vont atténuer son intensité ou au contraire, des ponts phoniques (« trous » dans les ouvrages) qui vont lui permettre de se propager plus facilement. Les bruits se transmettent :

- par transmission directe (TD) : au travers de la paroi de séparation (mur, plancher, plafond) ;
- par transmission indirecte ou latérale (TL) : au travers des parois autres que celle de séparation ;
- par transmission parasite (TP) : au travers des défauts d'étanchéité localisés ;

### → La réflexion du bruit

Lorsqu'un bruit rencontre une paroi, une partie de ce bruit est réfléchi par celle-ci. Ce bruit réfléchi se mélange alors au bruit émis dans le local. Le phénomène de réflexion du bruit est d'autant plus important que les parois du local sont lourdes et rigides et lisses.

### → Le temps de réverbération

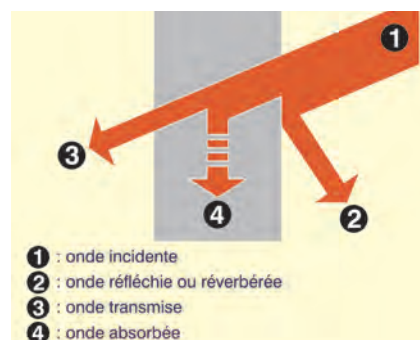
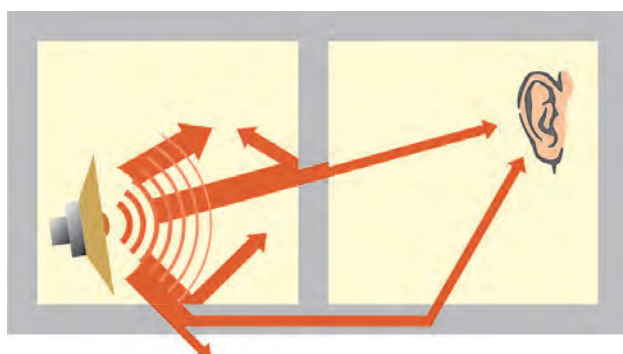
Le temps de réverbération (TR) d'un local est le temps, exprimé en secondes, nécessaire pour que le niveau de bruit diminue de 60 dB après arrêt de la source. Une réduction du temps de réverbération d'un local entraîne le plus souvent une réduction du niveau sonore ambiant régnant dans ce local. Le temps de réverbération varie en fonction des caractéristiques du local : volume, géométrie et matériaux de revêtements.

Plus cette durée de réverbération est longue, plus le phénomène d'écho est perçu, plus la salle s'avère bruyante et moins la parole est intelligible.

L'absorption acoustique requise pour obtenir un temps de réverbération donné est estimée rapidement par l'équation du temps de réverbération (TR) de Sabine :

$$A = 0.161 \times \text{volume/TR}$$

où le volume est exprimé en m<sup>3</sup>



Dans une classe, lorsqu'un professeur parle, l'élève entend une combinaison du son direct émis par ce dernier et de nombreuses réflexions de ce son sur différentes surfaces. Certains de ces sons réfléchis atteignent l'auditeur presque directement après le son direct, en accroissant l'intelligibilité de la voix. Par contre, des sons qui sont réverbérés plus de 0.5 seconde après l'arrivée du son direct, télescopent celui-ci et en diminuent l'intelligibilité. A l'inverse, si le local est trop sourd, la voix du professeur ne va pas porter.

Ainsi un temps de réverbération trop important ou trop faible nuit à la bonne intelligibilité et compréhension de la voix de l'enseignant.

Le temps de réverbération d'un local devrait idéalement être compris entre 0,5 et 0,7 seconde. Il est également recommandé que le temps de réverbération ne soit pas inférieur à 0,4 seconde, ce qui risquerait également d'être source d'inconfort (ambiance trop sourde).

### 1.5.2. Isolation et correction acoustique

#### 1.5.2.1. Les caractéristiques acoustiques des matériaux de construction

Les choix des matériaux peut influencer sur la qualité sonore des locaux scolaires tant au niveau de la qualité sonore du local proprement dit qu'au niveau de son isolation acoustique grâce à certaines caractéristiques propres à ces matériaux.

##### → Indice d'affaiblissement aux bruits aériens R

La capacité d'un matériau à empêcher la transmission des sons aériens est évaluée par son indice d'affaiblissement acoustique appelé  $R_w$  (dB). L'indice d'affaiblissement acoustique est la différence des niveaux sonores enregistrés de part et d'autre d'une paroi ou d'un matériau, entre les locaux d'émission et de réception. Plus l'indice d'affaiblissement acoustique  $R_w$  d'un matériau est élevé, meilleure est sa capacité d'atténuer les bruits. Toutes les parois n'ont pas le même indice d'affaiblissement acoustique R.

Exemples repris de l'ouvrage «Isolation phonique écologique» de J.L. Beaumier, Terre Vivante

- Bloc de plâtre de 7 cm d'épaisseur : 35 dB
- Brique creuse en terre cuite de 20 cm d'épaisseur : 48 dB
- Bloc béton de 20 cm d'épaisseur avec enduit au ciment : 52 dB

##### → Capacité d'absorption

La capacité d'absorption acoustique d'un matériau indique la capacité d'un matériau à absorber, au sein de leur structure propre, les vibrations sonores. Cette capacité est définie par un chiffre variant de 0 à 1 ; plus il est grand, plus le matériau a un pouvoir d'absorption important. Le tableau ci-dessous reprend le coefficient d'absorption de certains matériaux en fonction de la fréquence :

Matériau	Fréquence (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
50 mm laine minérale 100 kg/m <sup>2</sup> density	0.27	0.62	0.82	0.93	0.81	0.76
20 mm fibre-bois 230 kg/m <sup>2</sup> density	0.15	0.44	0.45	0.44	0.53	0.59
4 mm vitrage	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02

Source: L'isolation phonique écologique - Matériaux et mise en œuvre, J.L. Beaumier, Terre Vivante, Mens, (2006)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → La masse (densité) spécifique

Plus le matériau de construction a une masse spécifique et une inertie importante, plus sa capacité d'isolation aux bruits aériens est importante.

### → Isolation thermique et isolation acoustique

Vu la similitude entre les matériaux utilisés, on pourrait supposer que l'isolation thermique produit également une isolation acoustique. Or une isolation thermique sera également acoustique que si sa structure présente une porosité ouverte (laines minérales et végétales).

#### 1.5.2.2. Principes d'isolation acoustique

On parle d'isolation acoustique lorsqu'on met en œuvre des mesures visant à limiter la transmission du bruit au travers les locaux de vie ou de travail en travaillant à la fois sur les éléments de l'enveloppe et sur les éléments structurels de celui-ci.

### → Limiter les transmissions directes

Pour limiter les transmissions directes au travers d'un local de classe, les principes suivants seront utilisés :

#### Principe de masse

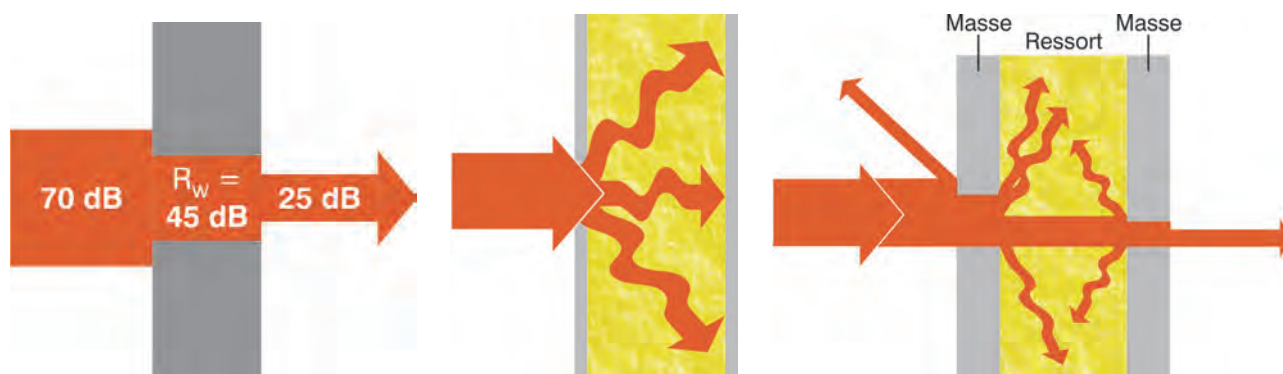
Selon la loi de masse, plus un matériau est lourd, plus il a un pouvoir d'isolation phonique important. La présence de masse est particulièrement efficace dans l'atténuation de bruits aériens.

#### Principe de Masse - Ressort - Masse

C'est le principe le plus utilisé en isolation acoustique. Il consiste à composer une paroi à l'aide de 3 couches de matériaux ayant des caractéristiques différentes de manière à absorber ou capter un maximum de fréquences et de longueurs d'ondes différentes :

- 1ère couche (Masse) : matériau ayant une inertie importante : réflexion d'une grande part de l'onde incidente et absorption du reste ;
- 2ème couche (Ressort) : matériau absorbant : dispersion d'une partie de l'onde dans le matériau
- 3ème couche (Masse) : matériau ayant une inertie importante : réflexion d'une part de l'onde dans le matériau absorbant

*L'emploi d'une stratégie acoustique utilisant la masse pose la question des capacités structurales du bâtiment. En rénovation, en cas de doute, le choix d'un système acoustique léger peut s'avérer intéressant selon le type de nuisance.*



### → Limiter les transmissions latérales au travers des éléments structurels

Pour limiter les transmissions latérales au travers d'éléments structurels, on travaillera sur le principe de désolidarisation. Le principe de désolidarisation des éléments de structure permet d'empêcher que les bruits se propagent par vibration au travers de la structure existante. En rénovation, cette solution ne pourra être appliquée qu'au niveau des planchers existants et des nouvelles cloisons implantées dans le projet.

Les matériaux résilients sont des matériaux qui vont résister à la propagation de l'onde sonore entre deux éléments structurels en permettant une désolidarisation de ceux-ci. On utilisera des matériaux tels que du liège, des feutres de fibres végétales (cellulose-lin, chanvre) ou des mousses (caoutchouc ou synthétiques).

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Image - © Easy-liege.fr



Image - © Insulco.be



Image - © Insulco.be

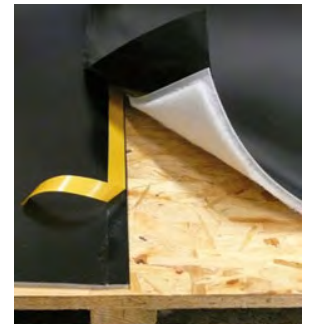


Image - © Insulit.be

### → Limiter les transmissions parasites

Pour limiter les transmissions parasites, on travaillera sur le principe d'étanchéification. Un trou, une fente, le passage d'une canalisation, un mauvais joint autour d'un châssis peut ruiner tous les efforts d'isolation acoustique d'une paroi. En effet, là où l'air passe, le bruit passe. Un bon isolement acoustique suppose donc une bonne étanchéité à l'air et une homogénéité maximale des parois.

### 1.5.2.2. Principes de correction acoustique

On parle de correction acoustique lorsqu'on modifie les caractéristiques intérieures d'un local de manière à traiter les réflexions des ondes sonores sur les parois à l'intérieur d'un local où le bruit est produit. La correction acoustique permet d'améliorer la qualité des sons perçus (améliorer les conditions d'écoute) et l'ambiance sonore d'un local sans cependant réduire le niveau sonore de celui-ci. La correction acoustique va principalement travailler sur le temps de réverbération. En correction acoustique, on considère que l'émetteur (la source sonore) et le récepteur (l'oreille) sont dans le même local.

### → Règles de correction acoustique

L'état de la surface et de la composition des parois (murs, sol, plafond) d'un espace existant détermine en grande partie ses caractéristiques acoustiques. En fonction de la destination d'un local, on peut améliorer ses caractéristiques acoustiques en travaillant sur les principes suivants :

#### **Mélanger surfaces réfléchissantes et absorbantes**

En fonction de la destination du lieu, on alternera les parois lisses réfléchissantes (mur plafonné) et les parois absorbantes (contre-cloison perforée avec isolant). De plus certains accessoires permettent également de réduire la réverbération du bruit : matériaux absorbants (sol, plafond, mur), tentures, stores en tissu, mobilier...

#### **La géométrie du local**

En fonction de la destination du local, certaines proportions (longueur, largeur, hauteur) influenceront l'acoustique.

#### **Répartir les surfaces d'intervention sur l'ensemble de la pièce (10 x 1m<sup>2</sup> plutôt que 1 x 10m<sup>2</sup>)**

### → Matériaux et éléments de correction acoustique

Plusieurs matériaux ou éléments peuvent aider à améliorer l'acoustique d'un local :

#### **Matériaux absorbants**

Ces matériaux fibreux ou poreux (vides d'air importants) vont réduire la propagation de l'onde sonore en empêchant la réverbération de celle-ci sur les parois. Ces matériaux absorbent à la fois les hautes et les basses fréquences.

#### **Panneaux vibrants**

Ces éléments permettent d'absorber l'énergie de l'onde incidente en mettant le panneau en vibration plutôt que la paroi. Ils absorbent les basses fréquences uniquement.

#### **Panneaux acoustiques**

Ces éléments absorbent l'énergie de l'onde incidente en mettant en mouvement la masse d'air présente dans chaque espace libre (ou trou) des panneaux. Ils absorbent toutes les fréquences.

### 1.5.3. Améliorer le confort acoustique dans les classes

Il est essentiel, lors de la rénovation de bâtiments scolaires, d'étudier et d'améliorer l'acoustique des bâtiments pour maîtriser et/ou limiter les bruits de l'environnement extérieur et les bruits d'équipements (ventilation, chauffage,...), pour

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Panneaux absorbants- © Acoustissimo



Panneaux acoustiques - © www.ardal.fr

assurer l'isolement suffisant aux bruits d'impacts et surtout éviter les deux défauts les plus fréquents : une trop grande réverbération des locaux et une mauvaise isolation entre locaux ou entre un local et les circulations. Et ce pour offrir à chaque enseignant et à chaque élève une ambiance sonore compatible à un enseignement et un apprentissage performant et de qualité.

**Le concepteur, si cela s'avère nécessaire, veillera donc à :**

- **isoler l'enveloppe du bâtiment aux bruits extérieurs ;**
- **isoler les locaux des bruits d'équipements ;**
- **isoler les locaux entre eux, tant au niveau des bruits aériens que des bruits d'impacts ;**
- **améliorer ou corriger l'acoustique de chaque local, si nécessaire**

### 1.5.3.1. Première étape: Evaluer la situation – local par local

Le traitement d'un problème acoustique dans un bâtiment scolaire existant commence par un diagnostic de la situation, de manière à comprendre ce qui est ressenti comme gêne sonore, d'où provient la nuisance sonore et comment celle-ci se propage dans le bâtiment. Cette nuisance peut être extérieure et/ou intérieure au bâtiment existant. Cette identification n'est pas toujours immédiate, surtout dans un bâtiment comprenant plusieurs étages, et une analyse « étage par étage » peut s'avérer nécessaire.

Il est primordial de déterminer la source en différenciant les bruits aériens, des bruits d'impact ou des bruits provenant d'appareils, de machines ou des techniques (ventilation, climatisation,...).

Une fois la source sonore polluante isolée, on peut évaluer sa valeur par l'utilisation d'un sonomètre. Les résultats seront pondérés par un filtre «A» afin de s'adapter à la sensibilité de l'oreille humaine.

Si une observation visuelle et auditive n'est pas suffisante, on envisagera des investigations plus approfondies par un spécialiste.

### 1.5.3.2. Améliorer l'isolation acoustique d'un local - Nuisance sonore extérieure au bâtiment

Dans la plupart des bâtiments anciens, les murs des façades sont en général de bons écrans acoustiques, du fait de leur masse importante. Cependant des défauts d'étanchéité à l'air peuvent entraîner la propagation du bruit à l'intérieur du bâtiment. Les deux points faibles de l'enveloppe d'un bâtiment existant sont les ensembles châssis /vitrage et les éléments rapportés tels que grilles de ventilation, caisse à volets,...

Au niveau de l'ensemble châssis/vitrage, ce n'est généralement pas la vitre qui est le point le plus critique, mais les ouvertures entre les battants (absence de joints souples) et au droit de la fixation du dormant (mauvais resserrage). Ces deux éléments sont à vérifier en priorité lorsqu'on veut améliorer l'acoustique lors de la rénovation de bâtiment scolaire situé dans un environnement bruyant ou fortement urbanisé. L'amélioration de l'isolation acoustique face à une nuisance sonore extérieure peut se faire de deux manières :

#### → Pose d'écrans sonore entre le bâtiment et la source sonore

Lorsque le bâtiment scolaire est proche d'une source sonore extérieure importante, le concepteur étudiera la possibilité de placer des écrans sonores (végétaux ou construits) qui vont absorber une partie du bruit et réduire ainsi l'intensité sonore perçue par l'occupant.

#### **Ecran sonore intérieur**

Réaménagement des locaux scolaires en plaçant les locaux de services comme écran entre la source sonore extérieure et les locaux de classes.

#### **Ecran sonore extérieur**

Aménagement des espaces extérieurs en implantant des arbres, des haies ou tout autre dispositif végétal entre la source sonore et le bâtiment. Pour être réellement efficace, ces écrans végétaux doivent avoir une certaine épaisseur. Cepen-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



dant, ils ont un réel impact psychologique sur les occupants d'une part en cachant la source des nuisances sonores et d'autre part en apportant une qualité aux espaces extérieurs.

### → Traitement de l'enveloppe

Les interventions sur l'enveloppe extérieure portent principalement sur l'amélioration des performances des portes et fenêtres, l'amélioration de l'étanchéité à l'air du gros-œuvre et des revêtements de façade et l'amélioration de l'isolation acoustique de la toiture.

En rénovation durable, on peut donc à la fois associer confort thermique et confort acoustique en travaillant sur la performance de l'enveloppe extérieure et une mise en œuvre soignée des différents éléments qui la composent.

### Interventions sur les façades

Les interventions pour améliorer l'acoustique des façades portent essentiellement sur les menuiseries, les entrées d'air (bouches et grilles) et sur certains éléments rattachés (caisson à volet). Cependant, on sera également attentif à l'état du revêtement extérieur (enduit, parement en bois,...) et aux défauts d'étanchéité. Quelle que soit l'amélioration apportée, notamment au niveau de l'isolation (thermique et acoustique) et l'étanchéité à l'air, celle-ci ne peut en aucun cas perturber la ventilation du bâtiment et des différents locaux.

### Menuiseries

L'objectif est à la fois d'améliorer l'isolation acoustique du châssis en étanchéifiant celui-ci (suppression tout passage d'air) et en étanchéifiant les raccords entre le châssis et la paroi. Quatre solutions sont envisageables:

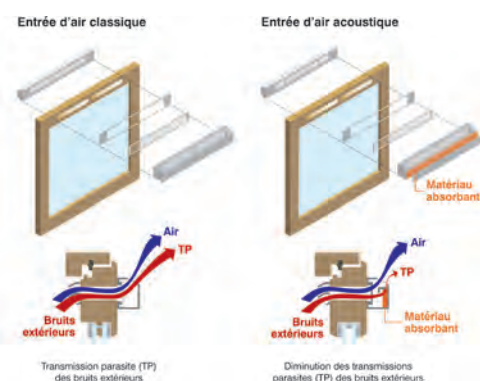
- Conservation des cadres et du vitrage, renforcement de l'étanchéité de l'ensemble (réfection des joints d'étanchéité du châssis, étanchéité du raccord châssis/mur,...)
- Conservation des cadres (dormants et ouvrants) et pose de vitrages acoustiques.
- Pose d'une nouvelle menuiserie étanche à l'air et équipée d'un vitrage acoustique
- Pose d'une double fenêtre dans le cas de bâtiments classés ou dans le cas de très grande fenêtre

### Ouvertures de ventilation

Les entrées d'air existantes seront remplacées par des grilles ou ouvertures acoustiques permettant le passage d'air tout en réduisant fortement la propagation des bruits aériens extérieurs.

### Interventions sur la toiture

La pose d'un isolant thermo - acoustique sous la toiture permet d'atténuer fortement certains bruits aériens. Cependant si les vibrations de la toiture se transmettent aux murs de façades, des solutions plus complexes de désolidarisation doivent être étudiées avec un spécialiste.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.5.3.3. Améliorer l'isolation acoustique d'un local - Nuisance sonore intérieure au bâtiment

Les bruits intérieurs dans un bâtiment existant sont soit des bruits aériens, soit des bruits d'impacts. L'amélioration de l'isolation acoustique face à une nuisance sonore intérieure peut également se faire de plusieurs manières complémentaires :

#### → Réaménagement intérieur

Une manière de limiter l'impact des nuisances sonores à l'intérieur d'un bâtiment est de revoir l'aménagement intérieur de celui-ci en privilégiant des solutions spatiales basées sur l'éloignement et l'isolement des sources de bruit.

Cette démarche consiste à :

- regrouper et juxtaposer les espaces sanitaires et les espaces techniques de telle sorte que les gaines de ventilation, descentes d'eau et alimentations ne soient pas en contact direct avec les locaux de classes ;
- éviter de placer les locaux et équipements bruyants en contact direct avec les locaux de classe
- se servir d'éléments architecturaux comme écran sonore (casiers, espaces de détente,...)

#### → Traitement des éléments de séparation

Traiter et isoler les éléments de séparation entre locaux, permet également de limiter la propagation de nuisances sonores à l'intérieur de bâtiments scolaires.

#### Cloisons de séparation entre locaux

Les interventions portent essentiellement sur la propagation des bruits aériens. L'intervention consiste à :

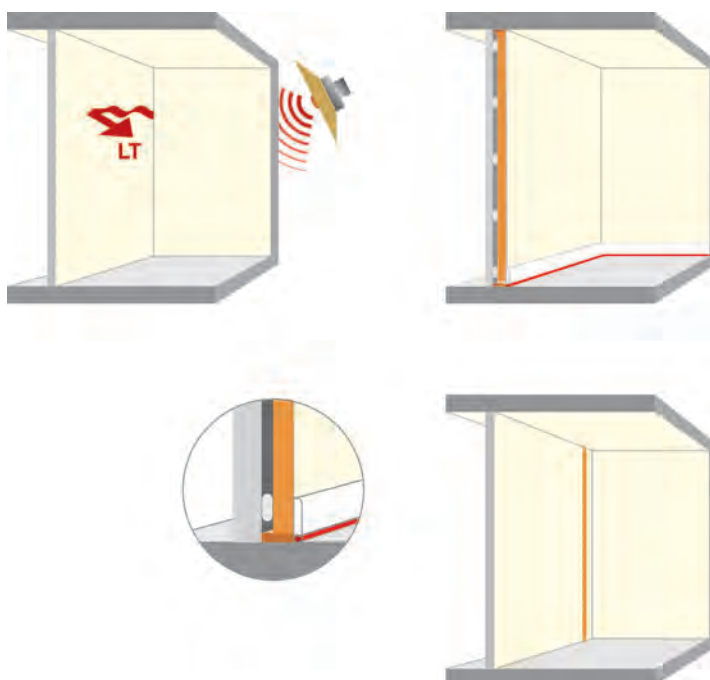
- poser un doublage acoustique : absorbant acoustique + cloison
- poser une couche résiliente au pied et tout autour du mur

#### Planchers et plafonds entre deux étages

Les interventions portent à la fois sur la propagation des bruits aériens et des bruits d'impact. La transmission des bruits aériens entre deux locaux est souvent favorisée par les interstices laissés aux passages de canalisations (chauffage,...) entre étages et par des liaisons rigides (colliers ou brides métalliques) entre canalisations et planchers. Les interventions à réaliser sont les suivantes :

- rebouchage des interstices à l'aide d'un matériau acoustique absorbant
- désolidarisation des liaisons rigides

Lorsque les bruits aériens se transmettent directement par le plafond/plancher, l'intervention consiste à poser un dou-

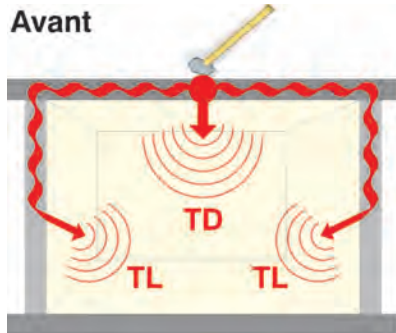


# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Avant

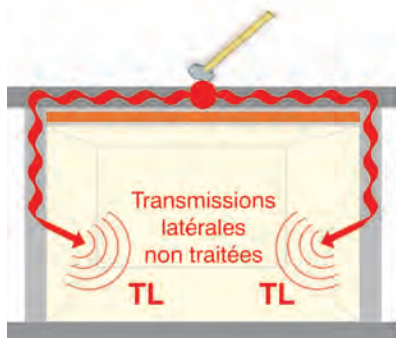


Cloisons en maçonnerie légère de nature rayonnante

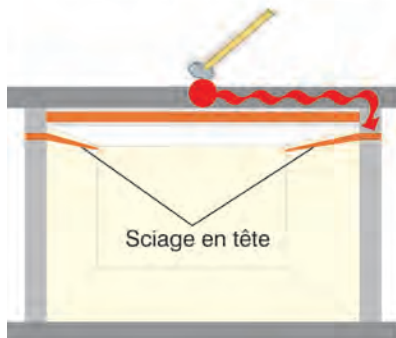
Remèdes



**Solution n°1**  
Remplacement du revêtement de sol de la pièce d'où provient le bruit; traitement de toutes les pièces situées en dessous+

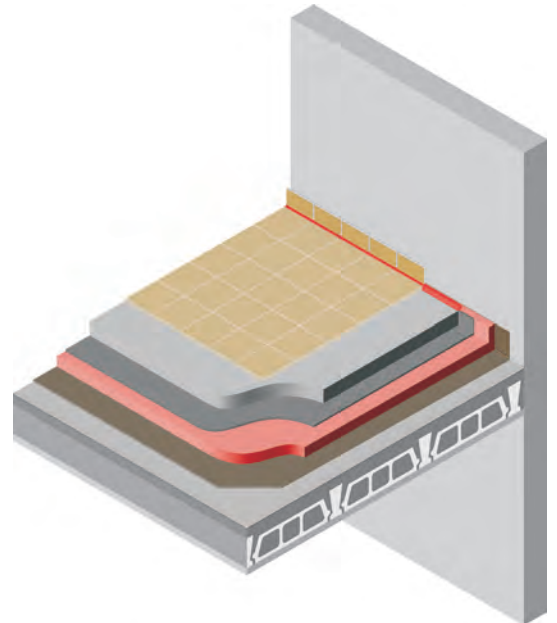
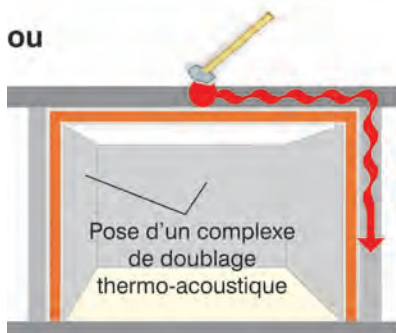


**Solution 2**  
Pose d'un complexe de doublage thermo-acoustique au plafond; traitement partiel d'une pièce



**Solution n°3**  
Pose d'un complexe de doublage au plafond traitement d'une pièce

ou





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



blage acoustique au niveau du plafond. La transmission des bruits d'impacts (pas, objet tombant sur le sol) peut être réduite par la pose d'une couche résiliente entre la dalle de structure et le revêtement de sol. On travaillera alors avec un plancher dit « flottant ».

### 1.5.3.4. Améliorer l'isolation acoustique d'un local - Nuisance sonore due à un équipement

Les nuisances sonores dues à un équipement peuvent avoir comme origine un bruit aérien ou solide. Pour améliorer l'isolation acoustique, il est nécessaire d'agir prioritairement directement sur la source pour qu'elle émette le moins de bruit possible et ensuite d'éviter que le bruit ne se propage dans l'installation ou dans la structure, par l'interposition de plots et colliers antivibratoires.

#### → Equipement de plomberie et sanitaires

##### Canalisations

- Limiter la pression du système de distribution (max 3 bars) et limiter la vitesse de l'eau dans les canalisations
- Respecter le diamètre minimal des canalisations d'alimentation des appareils sanitaires :
- Désolidariser les canalisations par rapport à la structure du bâtiment moyen de colliers et fourreaux en matière résiliente

##### Appareils sanitaires

- Choisir des appareils silencieux et émettant peu de vibrations ;
- Eviter les coups de bélier ;
- Désolidariser les appareils sanitaires par rapport à la structure du bâtiment.

#### → Equipement de chauffage

##### Chaufferie

- Isoler le local des autres locaux et lui donner une dimension adéquate ;
- Désolidariser la chaudière par rapport à la structure du bâtiment

##### Installation de distribution

- Utiliser des manchons antivibratoires entre les gaines et l'appareil.
- Limiter la vitesse de l'eau dans les canalisations (1m/s)

##### Appareils et corps de chauffe

- Placer des équipements techniques dont le niveau sonore est faible, émettant peu de vibrations ;
- Désolidariser les appareils par rapport à la structure du bâtiment au moyen de plots ou fixations antivibratoires.

#### → Equipement de ventilation

##### Local technique

- Eloigner le local technique avec des ventilateurs des autres locaux.

##### Appareils (ventilateurs)

- Choisir des ventilateurs silencieux et ayant une faible vitesse de rotation ;
- Afin de réduire les bruits d'impacts, il faut relier les conduits d'aérations au ventilateur avec des manchons souples et poser le ventilateur sur une dalle en béton reposant sur des plots antivibratoire.

##### Gaines et conduites

- Munir les conduits et les bouches de ventilation de silencieux.
- Limiter la vitesse de l'air et étanchéifier les conduits ;
- Eviter les coudes en «angle droit »
- Réaliser des entrées d'air acoustiques qui permettent le passage de l'air, mais limitent les entrées sonores par des chicanes et des matériaux absorbants le long du trajet.
- Désolidariser les conduits des planchers par un matériau antivibratoire.
- Eviter les gaines en matériaux rigides et légers. Préférer l'utilisation de matériaux lourds ou de plusieurs plaques de (fibro) plâtre entre lesquelles est placé un isolant compressible

### 1.5.3.5. Corriger l'acoustique d'un local

La correction acoustique est un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion d'une ou plusieurs parois d'un local, en agissant sur leur texture, leur relief, leur géométrie et leurs matériaux de revêtement.

La correction acoustique d'un local consiste à traiter les différentes parois du local de manière à réduire ou augmenter le

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



temps de réverbération.

Pour rappel ce temps de réverbération d'un local doit idéalement être compris entre 0,5 et 0,7 seconde. Il est également recommandé que le temps de réverbération ne soit pas inférieur à 0,4 seconde, ce qui risquerait également d'être source d'inconfort (ambiance trop sourde).

La correction acoustique d'un local nécessite souvent l'intervention d'un spécialiste, surtout dans le cas de la rénovation de locaux de classes, auditoriums, salle de spectacles...

### → Ajuster les surfaces réfléchissantes et absorbantes

L'état de la surface et de la composition des parois (murs, plafond, sol) d'un espace construit détermine en grande partie ses caractéristiques acoustiques. En fonction de la destination du lieu, on alternera les parois lisses réfléchissant le son (par exemple les murs plafonnés), et les parois absorbantes (par exemple une contre cloison perforée avec isolant).

Pour éviter l'effet ping-pong entre deux murs parallèles réfléchissants, on appliquera un matériau absorbant sur l'un deux.

### → Revoir la géométrie du local, si cela est possible

Si cette possibilité est envisageable lors de rénovation des bâtiments scolaires, on étudiera la géométrie des locaux de classes.

Une géométrie trop régulière peut avoir des conséquences désagréables sur l'acoustique d'un espace. Il est par conséquent important de bien choisir les rapports entre Hauteur / Longueur / largeur du local à traiter.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.6. Assurer une bonne qualité de l'air intérieur

*La qualité de l'air est, d'abord et avant tout, déterminée d'une part, par le taux de ventilation atteint et d'autre part, par la pollution intérieure, y compris la production d'humidité causée par le comportement des occupants. Les matériaux de construction dits «peu émissif» en termes de polluants doivent toujours être privilégiés (afin de réduire la pollution intérieure).*

#### 1.6.1. Limiter la pollution de l'air intérieur

La qualité de l'air intérieur des bâtiments scolaires peut être améliorée, de manière passive, en travaillant sur les aspects suivants :

- le choix des matériaux de construction ;
- le choix du mode constructif et des détails de finition ;
- le choix du mobilier et du matériel didactique ;
- l'aménagement intérieur de locaux (favoriser une ventilation naturelle, de préférence transversale)
- l'entretien et la maintenance des locaux (les produits de nettoyage utilisés peuvent également émettre des polluants)

*Il est évident que la qualité de l'air ne dépend pas uniquement de l'architecte ou du concepteur. Chaque occupant doit être sensibilisé à cette problématique et aux différentes actions ou gestes à avoir pour améliorer la qualité de l'air intérieur.*

##### 1.6.1.1. Polluants extérieurs et intérieurs

La qualité de l'air, que ce soit à l'extérieur des bâtiments ou à l'intérieur, est un facteur influençant sensiblement la santé des êtres humains et plus particulièrement les enfants. Selon l'Organisation mondiale de la Santé<sup>4</sup>, «... la santé respiratoire (à court et à long terme) et cardiovasculaire de la population d'une ville dépend directement du niveau de pollution de l'air.»

Le projet européen EnVIE<sup>5</sup> a démontré, en recensant les cas de maladies pouvant être directement attribués à une mauvaise qualité de l'air intérieur par pays

*Pour exemple, en Belgique, annuellement, 12.000 cas d'asthme ainsi que 10.000 cas de maladies cardiovasculaires, 3000 cas de cancer des poumons ou 12.000 cas de SBS (syndrome du bâtiment malsain) sont dus à une mauvaise qualité de l'air intérieur. L'étude montre que sur la totalité des cas de pathologie précédemment évoqués en Belgique, 7000 cas par an verraient leur origine dans la présence de COV (composants organiques volatils) à des concentrations trop élevées.*

##### → Polluants de l'air atmosphérique

Différentes activités, en relation directe avec le secteur de la construction, contribuent à la pollution de l'air:

- la production d'énergie thermique génère des émissions importantes de gaz de combustion, de poussières et de particules fines ;
- l'industrie qui, outre les gaz de combustion et les poussières, génère en fonction de la nature de son activité des composés organiques volatils (COV), des odeurs, etc.;
- les moyens de transport;
- le traitement des déchets ;

Les principaux polluants atmosphériques ayant un impact potentiel sur la santé sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), les hydrocarbures (HC), les métaux lourds comme le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) et les particules en suspension, surtout les plus fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>).

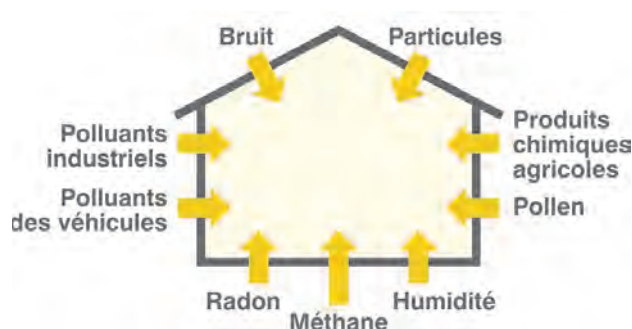
##### → Polluants atmosphériques – valeurs guides Europe et OMS

Les lignes directrices de l'OMS concernant la qualité de l'air constituent l'évaluation la plus largement reconnue et la plus à jour en matière d'effet de la pollution de l'air sur la santé. Ces lignes directrices préconisent des objectifs de qualité de l'air qui permettraient de réduire fortement les risques sanitaires.

**Une valeur limite** est définie, par polluant, comme le niveau maximal de concentration de ce polluant dans l'atmosphère, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine et/ou l'environnement.

<sup>4</sup> Source: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/index.html>

<sup>5</sup> European EnVIE project (co-ordination action on indoor air quality and health effects - <http://www.envie-iaq.eu>) aims to produce a preliminary research report on the subject of indoor air quality in Europe, to highlight the proven effects on health and to prepare future development of EU policy.



Images : Sylvie Rouche

**Une valeur cible** est définie, par polluant, comme un niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

**Un seuil d'alerte** est défini comme un niveau de pollution au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

**Un seuil d'information** est défini comme un niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée<sup>6</sup>.

### → Polluants de l'air intérieur

Le respect des nouvelles normes de performance énergétique des bâtiments nécessite de renforcer d'une part l'isolation de l'enveloppe et d'autre part l'étanchéité de celle-ci. Une forte étanchéité de l'enveloppe doit être accompagnée d'un système de ventilation efficace sous peine de détériorer la qualité de l'air intérieur par une concentration de polluants et un développement de bactéries et de champignons.

La question de la qualité de l'air intérieur est une préoccupation majeure de santé publique. La plupart des européens passent 85 % de leur temps dans des environnements « clos » dans lesquels ils sont exposés à de multiples polluants, qu'ils soient chimiques ou physiques. Ces substances trouvent leur origine dans les matériaux qui composent le bâtiment et essentiellement les revêtements de sol, de mur et de plafond, mais également dans le mobilier, les équipements et les produits d'entretien. Les polluants émis par ces différentes sources peuvent dégrader la qualité de l'air intérieur et ainsi avoir des effets négatifs sur le bien-être et sur la santé (allergies, irritation des yeux et de la gorge, maux de tête, etc.). En outre, ces émissions peuvent être amplifiées par une mise en œuvre de mauvaise qualité et par le type d'ambiance ou de climat auquel nous sommes confrontés : ensoleillement, température, humidité, etc.

En termes de polluants, il faut faire la distinction entre les polluants chimiques tels que les COV et les polluants physiques comme les fibres, les poussières, l'humidité... ainsi que le radon, les biocontaminants tels que les moisissures, les acariens... Les principaux polluants chimiques sont le benzène, le monoxyde de carbone, le formaldéhyde, le naphthalène, le dioxyde d'azote, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (notamment le benzopyrène), le radon, le trichloréthylène et le tétrachloréthylène.

L'OMS a publié des valeurs guides en vue de protéger la santé publique contre ces substances chimiques qui sont généralement reconnues pour leurs risques sanitaires et souvent présentes à l'intérieur des bâtiments et des locaux à des niveaux de concentration dommageables pour la santé. Ces valeurs guides sont le plus souvent exprimés en « ppm » (partie par millions), mg ou  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Elles sont téléchargeables sur le site de l'OMS : [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/outdoorair\\_aqq/fr/index.html](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqq/fr/index.html)

### → Matériaux de construction et émission de polluants intérieurs

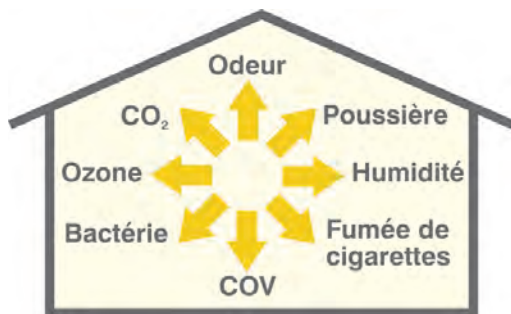
Selon les docteurs Déoux, les matériaux de construction peuvent émettre des polluants primaires et secondaires :

**Emissions primaires de polluants** : ces émissions sont provoquées par les composants des matériaux de construction (parachèvement et finition). Ces émissions sont importantes immédiatement après la fabrication, diminuent de 60 à 70% au cours des six premiers mois et disparaissent généralement après un an.

**Emissions secondaires de polluants** : ces émissions sont provoquées par l'action sur le matériau de l'humidité, d'une température élevée, d'un fort ensoleillement, de différents traitements chimiques liés à la maintenance et l'entretien... Ce type d'émission peut augmenter avec le temps et persister sur de longues périodes.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Humidité et pollution intérieure

L'humidité au sein de l'habitat peut également être considérée comme un polluant majeur. L'humidité favorise une contamination organique et le développement de micro-organismes, tels que les moisissures, bactéries, acariens,...

Les matériaux de construction, en raison de leurs composants propres, peuvent être à la source d'émissions primaires. L'humidité relative de l'air intérieur augmente ces émissions. Mais l'humidité provoque également une destruction chimique au sein des matériaux de construction, en particulier, avec l'action combinée de l'alcalinité (exemple : revêtements et colles en contact avec le béton). Ces émissions secondaires produites par une dégradation du matériau peuvent augmenter, durer très longtemps et affecter de manière importante la qualité de l'air intérieur.

#### 1.6.1.2. L'évaluation de la pollution intérieure

L'évaluation de la qualité de l'air intérieur se réalise dans la pratique sous deux formes différentes :

- in situ lorsque l'on réceptionne un chantier après travaux ou lorsqu'on est en présence de nuisances pour les occupants. C'est notamment le cas de l'ambulance verte dont l'intervention peut être demandée par un médecin lorsque celui-ci suspecte qu'un problème de santé pourrait être lié à la présence d'une pollution à l'intérieur de l'habitation.
- en laboratoire lorsque l'on cherche à évaluer la contribution d'un matériau à la qualité de l'air globalement perçue.

Dans le premier cas, on mesure les concentrations en polluants dans l'air dans le bâtiment alors que dans le deuxième cas on replace le matériau dans ses conditions « normales » d'utilisation afin d'évaluer sa contribution à la qualité de l'air d'une pièce modèle, en termes de polluants organiques volatils.

Les analyses d'émission de matériau en chambre de test sont régies par la norme européenne ISO 16000 « Air intérieur ». Chaque fabricant, s'il le souhaite, peut faire analyser par des centres agréés son ou ses matériaux en ce qui concerne leurs émissions potentielles de polluants intérieurs. Un de ces centres agréés en Wallonie est notamment le CERTECH ([www.certech.be](http://www.certech.be)).

#### 1.6.1.3. Limiter la pollution intérieure par un choix adapté de matériaux de construction

Bien choisir les matériaux de construction - et essentiellement les matériaux de parachèvement et de finition en relation directe l'air intérieur et l'occupant - permet à la fois de limiter les émissions de polluants intérieurs mais également de réguler le taux d'humidité et le climat intérieur des différents locaux.

### → Matériaux peu émissifs

Le choix de matériaux de construction exempts ou à faible teneur en polluants est prépondérant quant à la qualité de l'air et la qualité des espaces et locaux scolaires puisque ce choix permet de minimiser la pollution intérieure.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Le concepteur, lors du choix des matériaux, veillera à choisir – à performance technique égale :

- des matériaux limitant l'émission de polluants extérieurs durant les phases d'extraction, de fabrication, de transport et de fin de vie ;
- des matériaux exempts de particules et de fibres;
- des matériaux exempts de métaux lourds;
- des matériaux n'émettant peu ou pas de COV<sup>7</sup> ;
- des matériaux n'émettant peu ou pas d'ozone et autres gaz;
- des matériaux n'émettant peu ou pas de radon et de rayonnements ionisants et matériaux n'émettant peu ou pas de rayonnements non ionisants.

*Pour limiter la condensation et le développement de moisissures, on peut aussi jouer sur un effet tampon des matériaux. Certains matériaux, de par leurs propriétés hygroscopiques, permettent d'absorber rapidement de grandes quantités de vapeur (argile, enduits à la chaux, panneaux de plâtre, etc.) s'ils sont en contact avec l'ambiance humide. Ce faisant, ils atténuent les pointes de production de vapeur et réémettront cette vapeur vers l'ambiance une fois que le local sera plus sec. Ils jouent ainsi un rôle de régulateur. Il est cependant à noter que les quantités d'eau absorbées restent faibles au regard de la vapeur produite dans le bâtiment*

### → Choix d'un système constructif et d'une mise en œuvre adaptée

Une mise en œuvre soignée et adaptée permet de minimiser les sources de polluants intérieurs, notamment:

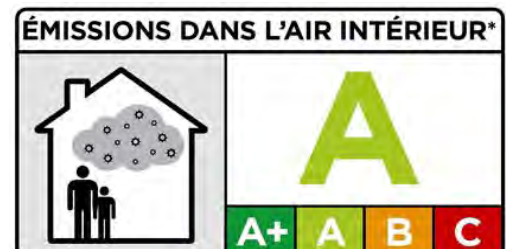
- le traitement des ponts thermiques et le choix et la mise en œuvre d'un pare-vapeur couplé à l'isolant élimine ou minimise les risques de condensations, de moisissures ou de champignons ;
- les mises en œuvre mécaniques (à l'aide de vis et de clous) permettant d'éviter l'utilisation de colles et solvants qui peuvent être à l'origine d'émission de polluants.

### → Cadre réglementaire et labels « qualité de l'air intérieur » pour matériaux de construction

La réglementation européenne en matière de qualité de l'air s'est focalisée essentiellement sur l'air extérieur, en imposant des limites d'émissions de polluants à l'industrie, au trafic routier et aux installations de production d'énergie. Depuis moins de 10 ans seulement, les réglementations européennes font référence à la qualité de l'air intérieur: c'est le cas de la directive REACH (2006/121/EC), la directive produits de consommation GPSD (2001/95/EC), la directive produits de construction CPD (89/106/EC) ou encore la directive performance énergétique des bâtiments EPBD (2002/91/EC). Depuis les années 1990, des systèmes de labellisation pour les matériaux de construction, intégrant des exigences en termes de qualité de l'air intérieur, ont été développés dans certains pays européens:

- La classification M1<sup>8</sup> (Finlande);
- Indoor Air Climate certification<sup>9</sup> (ICL), (Danemark);
- GUT<sup>10</sup> /EMICODE/Blauer Engel<sup>11</sup> /AgBB (Allemagne);
- Le protocole AFSSET (France).

Ces labels sont basés principalement sur des limites d'émissions en composés volatils et la plupart ont été initiés et mis en place par des fédérations professionnelles sur une démarche volontaire.



7 *Étiquetage sur les COV (France) : Depuis avril 2011, un décret oblige les fabricants de produits destinés à la construction intérieure (hors ameublement) d'étiqueter les produits mis sur le marché en fonction de leur faculté à émettre des COV. Tous les produits seront classés de A+ (peu émissif) à C (très émissif).*

8 <http://www.rakennustieto.fi/index/english/emissionclassificationofbuildingmaterials.html>

9 <http://www.teknologisk.dk/ydelsler/253>

10 <http://www.gut-ev.org/fr>

11 [www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.6.1.4. Responsabilité des occupants face à la qualité de l'air intérieur

La qualité de l'air intérieur dépend aussi en grande partie du comportement de l'occupant: mode de vie, présence d'animaux ou de plantes, présence de fumeurs... S'il est souhaitable que l'architecte par un choix adapté et responsable des matériaux de construction puisse améliorer la qualité de l'air, il n'est pas le seul acteur à pouvoir agir.

Il est essentiel de responsabiliser les acteurs d'une école, enseignants, élèves, direction, personnel de maintenance, sur leur responsabilité à générer ou non des sources de pollution intérieure. Quelques gestes simples ou actions peuvent fortement améliorer la qualité de l'air dans les locaux et espaces scolaires :

- ne pas fumer à l'intérieur des locaux, y compris dans les salles de professeurs;
- ouvrir régulièrement les fenêtres pour ventiler le local de classe ;
- gérer avec attention la présence de petits animaux domestiques dans les locaux de classe, spécialement dans les classes de maternelles (lapins, hamsters, souris...) ;
- être attentif au choix du mobilier et à la décoration des classes (peintures colorées, panneaux de fibres, plantes...) ;
- choisir avec attention les produits de nettoyage peu émissifs et peu toxiques. Nettoyer ou brosser régulièrement les locaux de classe pour éviter l'accumulation de poussières ;
- choisir avec attention les produits dits « de bricolage » utilisés en classe (colle, vernis, peinture,...) et avoir un local spécifique pour le stockage de ceux-ci.

#### → Produits d'entretien respectueux de la santé et de l'environnement

Le choix des produits d'entretien dans le cadre du nettoyage des locaux scolaires a également de l'importance. Les produits d'entretien (détergents, dégraissants, produits lave-vitre,...) peuvent contenir des composés organiques volatils dangereux pour la santé. Si la plupart du temps, l'exposition aux produits d'entretien se traduit par une irritation des voies respiratoires, une exposition à long terme peut s'avérer très nocive et entraîner allergies, stérilité et dans certains cas apparition de cancers.

Dans le cas des écoles, on veillera donc à éviter les produits à base d'eau de javel, de formaldéhyde, de phosphates et de borates, à choisir des produits écolabellisés (Ecolabel européen, label ECOCERT, label NordicSwan), à respecter et à ne pas dépasser les dosages indiqués.

### 1.6.2. Installer et/ou optimiser un système de ventilation

Pour assurer la qualité de l'air, il est nécessaire de mettre en place une ventilation hygiénique efficace. Celle-ci doit permettre l'amenée continue d'air frais dans les locaux, et l'évacuation des polluants présents dans l'air, principalement l'humidité et le CO<sub>2</sub>, mais également d'autres polluants, décrits plus haut. La ventilation hygiénique peut avoir un coût énergétique non négligeable. Les pertes thermiques par ventilation d'un bâtiment sont d'autant plus importantes que le bâtiment est bien isolé et que les infiltrations par les parois sont limitées. Si le bâtiment étudié a un niveau d'isolation K35, ces pertes peuvent atteindre 50 % des besoins énergétiques.

Il est donc essentiel, en rénovation durable, d'optimiser le système de ventilation hygiénique de manière à combiner qualité de l'air intérieur et efficacité énergétique.

#### 1.6.2.1. La ventilation hygiénique dans les écoles

##### → L'importance de la ventilation hygiénique

La ventilation hygiénique a pour rôle de garantir la qualité de l'ambiance intérieure et le bien-être et la santé des occupants par un renouvellement d'air suffisant. Dans le contexte de rénovation énergétiquement performante, caractérisée par une isolation importante et une bonne étanchéité à l'air, les infiltrations deviennent faibles et totalement insuffisantes pour garantir un renouvellement d'air suffisant.

Dans le cas des locaux de classes, vu le nombre d'enfants par classe, l'air intérieur est rapidement pollué par une série de substances (CO<sub>2</sub>, COV, humidité, poussières...). Ces substances, si elles sont présentes en grande quantité, maintiennent les occupants d'un local dans une ambiance de plus en plus malsaine : la respiration est moins active, une fatigue prématurée apparaît, la concentration des élèves diminue... Le risque de maux de tête et de contamination augmente, ...

Il est donc indispensable, tant du point de vue énergétique que du point confort et qualité d'apprentissage, de garantir une ventilation hygiénique efficace dans les locaux de classe et autres locaux scolaires.

##### → Pourquoi la ventilation par l'ouverture des fenêtres n'est pas adéquate dans le cas des écoles ?

La ventilation par les fenêtres est une ventilation intensive périodique qui permet une élimination rapide des polluants émis dans l'ambiance. Elle est inadéquate pour assurer une ventilation de base continue car :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- elle est liée à la bonne volonté des occupants ;
- elle est intermittente, alors que l'émission de polluants est permanente, ce qui signifie qu'entre les périodes d'ouverture et les périodes de fermeture le taux de CO<sub>2</sub> par exemple fluctuera fortement dans le local et dépassera bien souvent les limites admises. Par exemple, dans une classe normalement occupée et ventilée uniquement aux interours, ces limites sont atteintes après un quart d'heure d'occupation ;
- elle peut être source d'inconfort pour les occupants étant donné les débits importants d'air neuf, froid en hiver ou en mi saison ;
- elle est difficilement réglable. Le débit n'est donc ni régulier ni contrôlé.

### 1.6.2.2. Différence entre infiltration d'air, ventilation hygiénique et ventilation intensive

Il est important de différencier les notions de ventilation hygiénique, d'infiltration d'air et de ventilation intensive (jour et nuit) :

#### → L'infiltration de l'air

Les infiltrations d'air sont définies comme étant des débits d'air frais entrant dans le bâtiment par les « trous » de l'enveloppe extérieure (fentes, fissures, défaut d'étanchéité,...). Ces débits sont incontrôlables (quantité, température, direction et durée) et varient fortement en fonction des conditions atmosphériques extérieures. Un des objectifs énergétiques de la rénovation de bâtiments scolaires va être d'une part de renforcer l'étanchéité à l'air du bâtiment (et ainsi minimiser les déperditions) et d'autre part, de limiter les apports d'air frais à la quantité nécessaire et suffisante pour maintenir un air intérieur de qualité.

#### → La ventilation hygiénique

La ventilation hygiénique est un renouvellement d'air nécessaire pour assurer un environnement sain aux occupants : absence d'humidité trop importante, absence de moisissures, absence de poussières, d'odeurs,... Cette ventilation est organisée de manière à assurer un certain débit d'air dans chaque local du bâtiment en fonction de l'activité qui s'y déroule. Il faut donc prévoir des dispositifs contrôlables d'amenée et d'évacuation d'air (ouvertures réglables et correctement dimensionnée et/ou un système mécanique).

#### → La ventilation intensive (de jour comme de nuit)

La ventilation intensive de jour et de nuit est « une stratégie passive » qui permet de refroidir le bâtiment sans consommation d'énergie. La fonction même du système et les débits d'air sont sensiblement différents de ceux de la ventilation hygiénique (voir point 3.10).

### 1.6.2.3. Ventilation, réglementation en vigueur et objectifs à atteindre

Chaque pays a sa propre réglementation en matière de ventilation hygiénique de bâtiments non résidentiels et de bâtiments scolaires, notamment en termes de débit d'air entrant et de système de ventilation à installer. Il est donc essentiel de se référer à ces réglementations en sachant cependant que le métabolisme d'un enfant est différent de celui d'un adulte. *En effet, plus l'élève est jeune, plus il sera sensible aux polluants de l'air car son métabolisme est plus rapide. A la différence d'un adulte, il respire davantage par la bouche et profite donc moins de la filtration nasale. Il respire plus vite, inhale plus d'air rapporté à la masse corporelle et absorbe deux fois plus de polluants.*

Dans le cas d'une rénovation soutenable, l'objectif à atteindre en termes de ventilation hygiénique des locaux de classe est **d'assurer un renouvellement d'air suffisant de manière à maintenir le taux de CO<sub>2</sub> aux alentours de 1000 ppm<sup>12</sup>.**

La norme européenne EN 15251 recommande un taux de renouvellement d'air pour les locaux de classe de 7 l/s par personne ou 25.2 m<sup>3</sup>/h par personne.

### 1.6.2.4. Les différents systèmes de ventilation envisageables en rénovation de bâtiments scolaires

Ce chapitre a été rédigé sur base du site Energie Plus: <http://www.energieplus-lesite.be>.

#### → Les systèmes de ventilation

Il existe plusieurs systèmes de ventilation hygiénique (voir schémas ci-après)

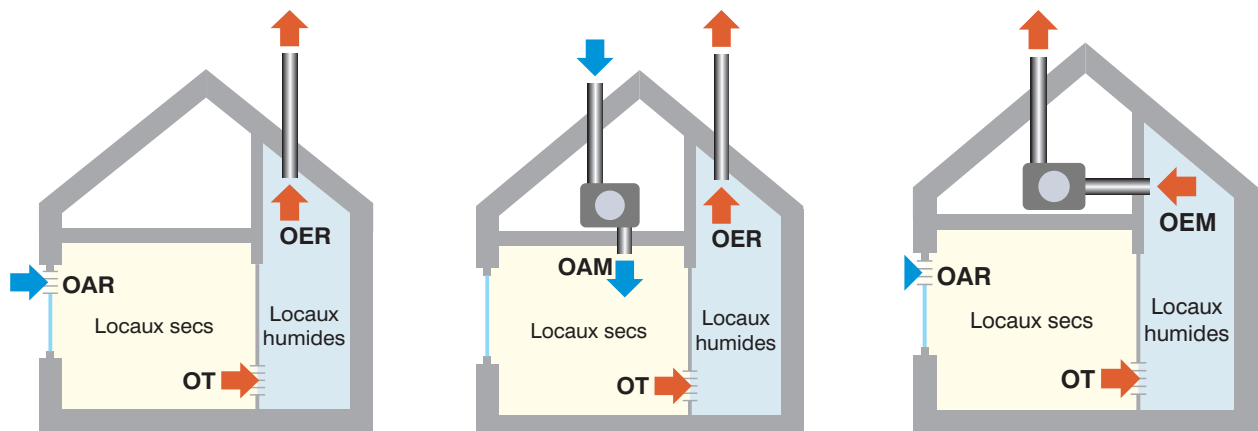
#### Ventilation naturelle

L'amenée d'air dans les locaux se fait généralement en façade par des grilles réglables (OAR).



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



L'air passe ensuite par les ouvertures de transfert (OT) aménagées dans les portes (détalonnage ou grilles) et est évacué dans les sanitaires par des bouches d'extraction réglables (OER) et repris dans des conduits verticaux débouchant généralement en toiture.

### Ventilation avec extraction d'air mécanique (système C)

L'amenée d'air dans les locaux se fait généralement en façade par des grilles réglables (OAR).

L'air passe ensuite par les ouvertures de transfert (OT) aménagées dans les portes (détalonnage ou grilles) et est évacué mécaniquement dans les sanitaires par les bouches d'évacuation (OEM) et conduits verticaux menant en toiture.

### Ventilation double flux (système D)

Ce système est entièrement mécanisé. L'amenée d'air frais se fait généralement en toiture.

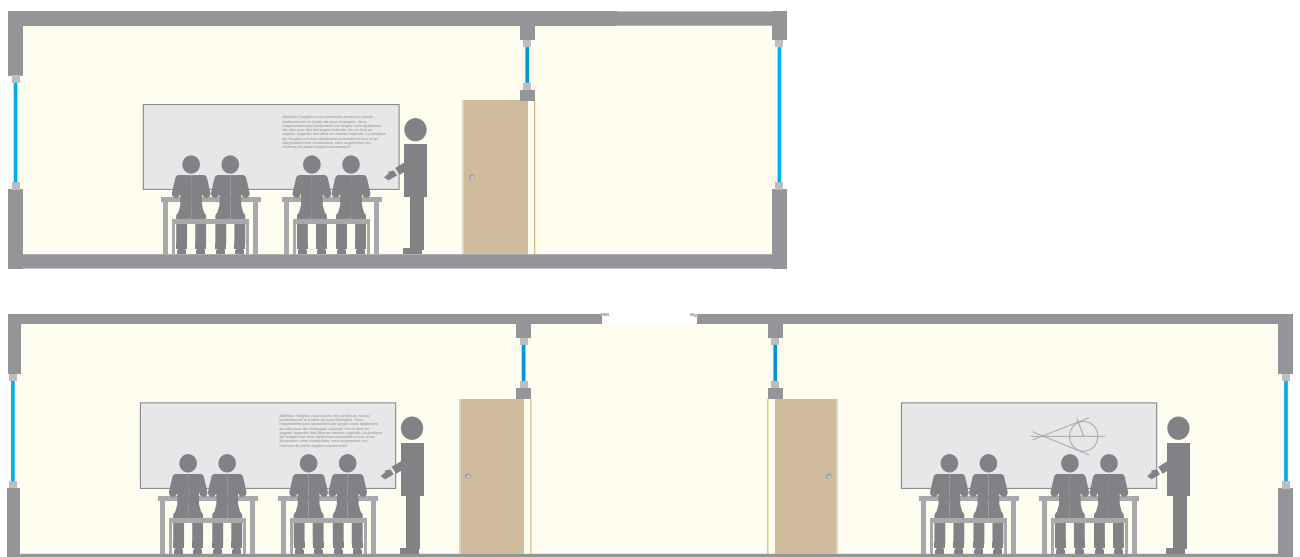
L'air est pulsé par des bouches de pulsion (OAM) dans les locaux. L'air passe ensuite par les ouvertures de transfert (OT) aménagées dans les portes (détalonnage ou grilles) et est évacué mécaniquement dans les sanitaires par les bouches d'évacuation (OEM) et conduits verticaux débouchant en toiture.

On peut coupler à ce système, des dispositifs permettant une économie d'énergie, comme:

- un récupérateur de chaleur permettant un échange de chaleur entre l'air vicié et l'air neuf
- un puits canadien ou provençal permettant le préchauffage ou refroidissement de l'air neuf

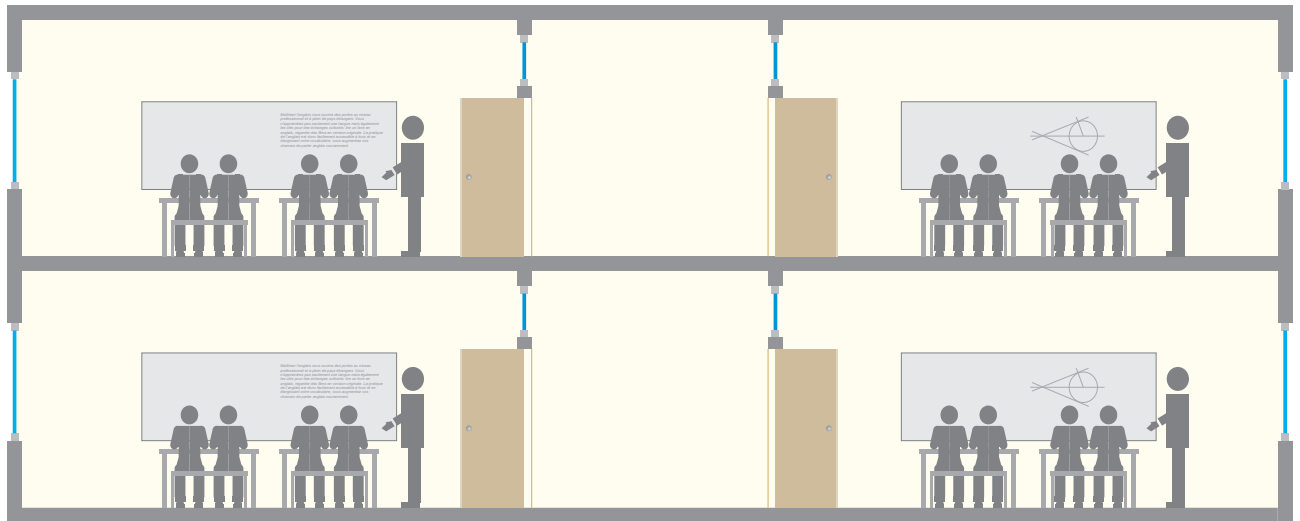
### → Principes généraux

Les classes sont généralement desservies par des circulations donnant également accès à un ou plusieurs complexes sanitaires mais comme pour le confort visuel, plusieurs types de configuration peuvent être mises en évidence :



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE

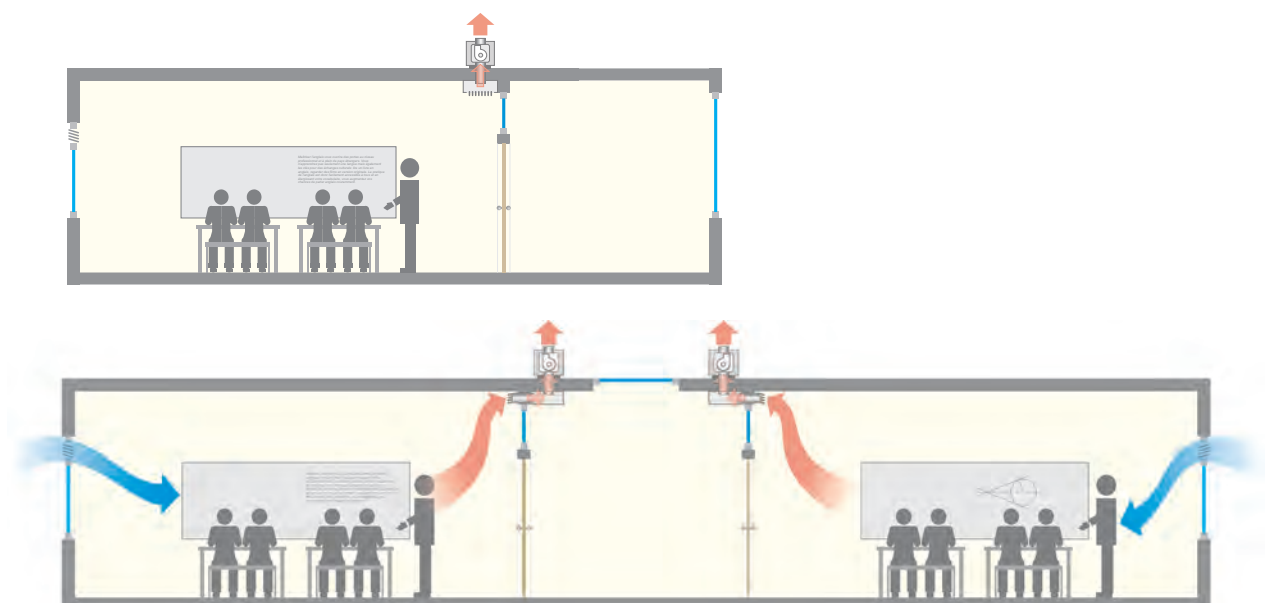


### Ventilation simple flux avec extraction mécanique (système C)

Lorsque l'ambiance extérieure (bruit et pollution limités) le permet, la solution la plus simple à mettre en œuvre lors de la rénovation du bâtiment est le système simple flux avec extraction sanitaire.

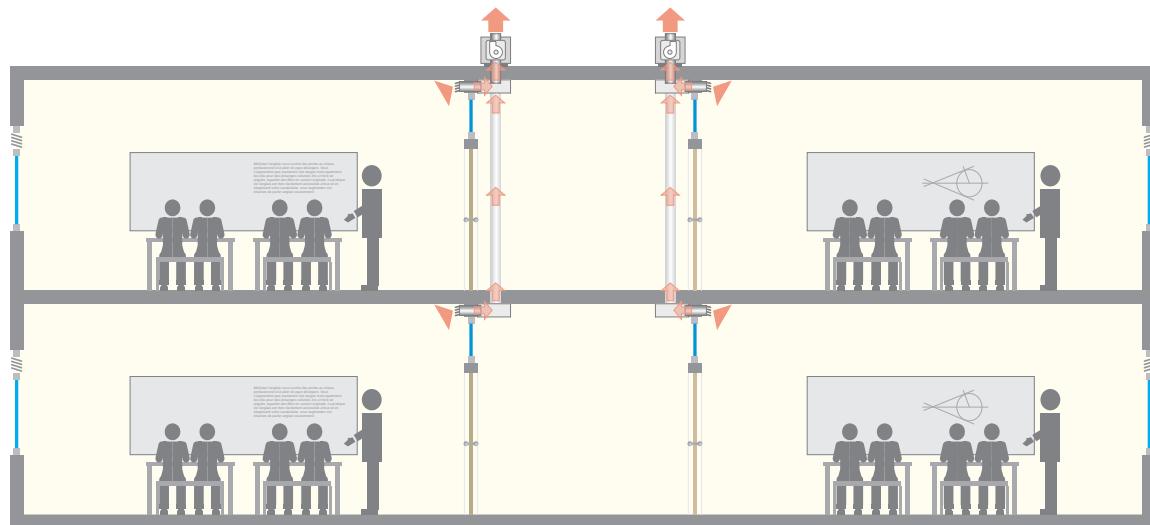
L'air neuf est de préférence introduit dans les classes au moyen de grilles auto réglables placées en façade dans les menuiseries ou la maçonnerie. L'air vicié est évacué dans les sanitaires au moyen d'un ventilateur d'extraction. Les transferts d'air entre classes et sanitaires se font, soit par un détalonnage des portes, soit par des passages appropriés avec grilles à chevrons ou autre. Ce système présente cependant des inconvénients:

- la nécessité d'un nombre important de grilles d'amenée d'air auto réglables ;
- la transmission de bruit possible au travers des grilles de transfert et l'absence de filtration de l'air entrant, ce qui rend ce système incompatible avec une situation urbaine ;
- le risque de courants d'air froid dus au débit d'air frais introduit dans la classe ;
- le risque de perturbation du flux d'air en fonction de l'ouverture des fenêtres et des portes.

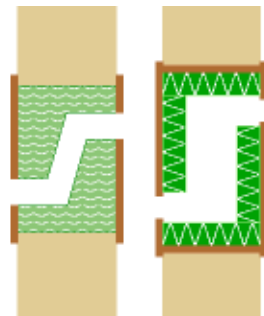


# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Conception d'unités de transfert acoustique, si le flux d'air se fait à travers le couloir



### Ventilation double flux avec pulsion et extraction mécanique (système D)

Le système de ventilation double flux, c'est-à-dire équipé d'une pulsion et d'une extraction mécanique, est le meilleur en terme de maîtrise des débits dans les locaux : on a la garantie que les classes sont alimentées en air neuf et que l'air vicié des sanitaires est directement évacué vers l'extérieur.

Ce système est pratiquement indispensable dans les écoles en site urbain.

La distribution de l'air neuf est assurée par un réseau de conduits placé dans les faux plafonds des zones de circulation. La diffusion de l'air neuf à l'intérieur de chaque classe est obtenue par une ou plusieurs bouches, soit murales dans le cas d'une retombée des faux plafonds des circulations, soit plafonnières s'il existe un faux plafond dans le local. L'extraction de l'air vicié et le transfert de celui-ci se font comme pour le système simple flux.

Le choix du double flux par rapport au simple flux sera guidé par :

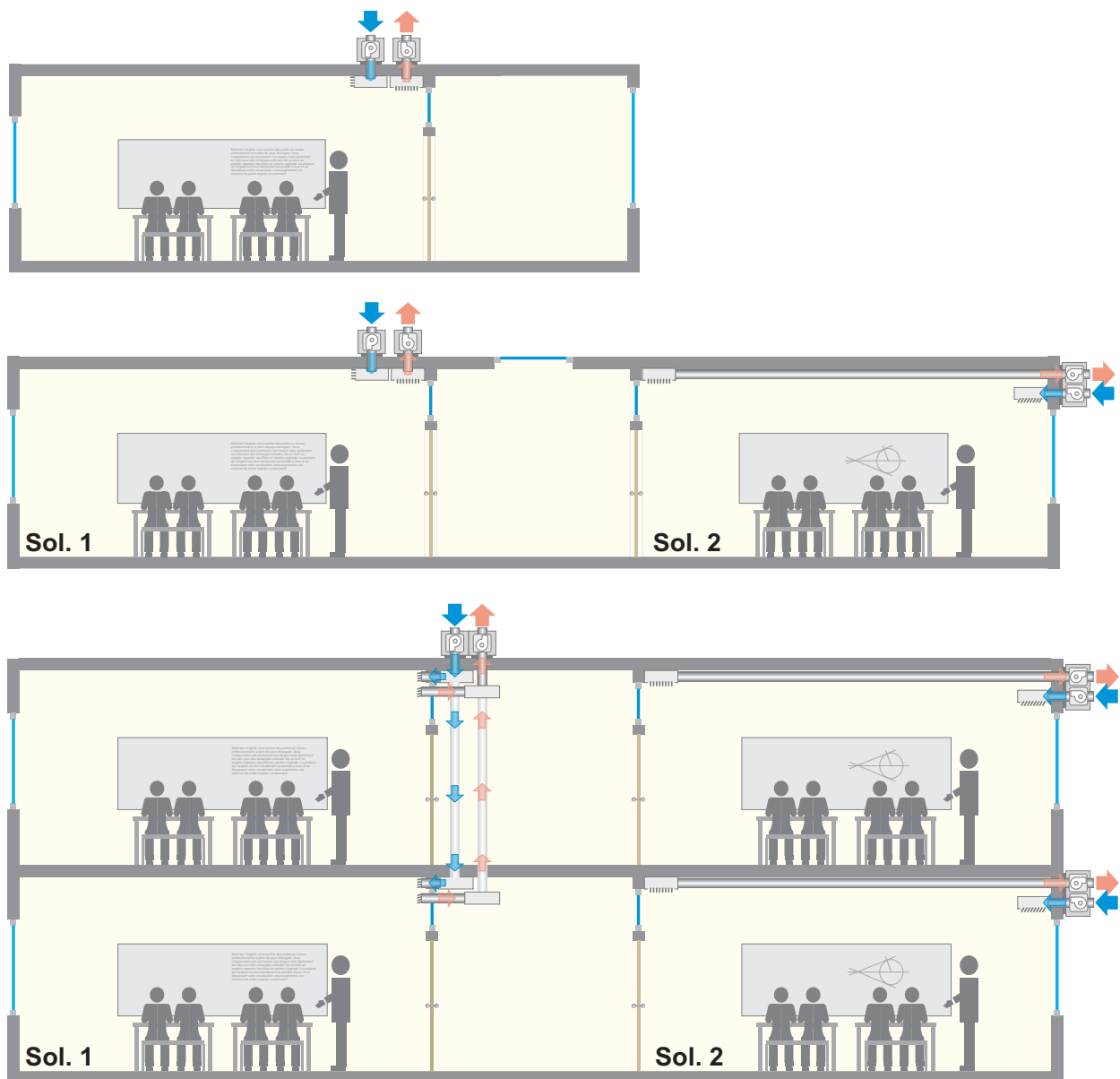
- le souhait de garantir une répartition correcte des flux d'air ;
- le besoin de se protéger de l'ambiance extérieure (bruit et pollution) ;
- le besoin d'augmenter la température de l'air neuf.

Le double flux permet également :

- une récupération de chaleur par échange entre l'air extrait et l'air neuf
- un traitement en température et en humidité – si nécessaire –, pour assurer un confort optimal.
- un recyclage partiel de l'air, dans le cas où l'air de ventilation assure également le chauffage des locaux, le refroidissement, ...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Equilibre entre amenée d'air neuf et évacuation d'air vicié

Dans le cas des écoles, le nombre de locaux de classe est souvent plus nombreux que le nombre de locaux sanitaires. De plus, vu le nombre d'occupants par classe, les débits d'air neufs sont très importants et généralement supérieurs aux débits à extraire recommandés dans les sanitaires.

Dans la mesure du possible, il faut donc essayer d'équilibrer les débits d'amenée et d'évacuation d'air, tout en laissant un léger surplus d'amenée d'air par rapport à l'extraction pour maintenir le bâtiment en surpression et éliminer les entrées d'air parasites. Il faut cependant éviter de surdimensionner les extractions sanitaires sous peine de risque de courants d'air et d'inconfort dans ces derniers. On peut, dès lors :

- Disposer des évacuations d'air complémentaires dans les circulations ou des locaux annexes comme des réserves, ...
- Equiper les classes de leur propre extraction. Cette configuration s'impose lorsque les sanitaires ne sont pas en communication directe avec la zone des classes (sanitaires extérieurs, dans les halls d'entrée, ...). Elle permet en outre de supprimer les grilles de transfert dans les portes qui peuvent être source de transmission de bruit entre les classes.

*Pour des raisons constructives, il n'est pas toujours possible, en rénovation, d'équilibrer amenées et évacuations d'air. Pour faciliter la mise en œuvre dans ce cas, on peut imaginer une pulsion d'air neuf dans chaque local et une extraction sanitaire, suivant les débits recommandés par la réglementation en vigueur. On fait alors confiance aux inétanchéités du bâtiment (ouvertures de portes, ...) pour évacuer la différence entre les débits pulsés et les débits extraits.*

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.6.2.5. Critères de choix pour une ventilation

Si les systèmes de ventilation naturelle (amenée et évacuation d'air naturelles) sont en général les moins onéreux, et les plus facile à installer, on leur préférera souvent un système mécanique (simple ou double flux) et ce en fonction des critères repris ci-après :

#### → Critères de choix pour une extraction mécanique :

- Respect de la réglementation en vigueur ;
- Possibilités d'implantation ;
- Garantie et efficacité d'évacuation de la pollution intérieure
- Garantie de l'isolation acoustique dans les locaux de classes (pas d'apport de nuisances acoustiques)
- Respect de la réglementation incendie

#### → Critères de choix pour une pulsion mécanique dans un local de classe fermé :

- Respect de la réglementation en vigueur ;
- Garantie d'amenée d'air neuf en suffisance ;
- Qualité de l'environnement extérieur (pollution, bruit,...) ;
- Risques de courant d'air
- Coût d'installation

#### → Garantie de résultat

L'efficacité d'une ventilation est sa capacité à évacuer réellement les polluants des locaux. Pour cela, il faut avoir la garantie que l'air neuf balaye correctement les classes et soit évacué après son mélange avec l'air ambiant.

La solution idéale est, mécaniquement, de pulser l'air neuf et d'évacuer l'air vicié directement dans le local. Cette solution de ventilation indépendante de chaque local est cependant onéreuse, car elle demande un double réseau de distribution de l'air.

Le système double flux avec pulsion dans les classes et extraction dans les sanitaires garantit au minimum une amenée d'air neuf réelle dans les classes et une évacuation des odeurs dans les sanitaires.

Les systèmes de ventilation naturelle ou simple flux, quant à eux, ne garantissent pas toujours un renouvellement d'air correct dans toutes les classes. De plus, les flux d'air véhiculés par les systèmes naturels ou simple flux sont dépendants des conditions atmosphériques et donc difficilement contrôlables.

#### → Ambiance intérieure

Si l'ambiance extérieure est particulièrement polluée et/ou bruyante, les amenées d'air neuf doivent obligatoirement comporter des filtres et une isolation acoustique. Les amenées d'air naturelles, même équipées de systèmes d'insonorisation laissent cependant passer les bruits extérieurs et surtout les poussières. Dans les sites urbains fort fréquentés, une pulsion mécanique, équipée de filtres s'impose, la prise d'air extérieure devant être disposée dans l'endroit moins exposé (sur le toit et à l'arrière des bâtiments).

#### → Isolation acoustique entre locaux

Une activité spécifique dans un local peut engendrer des nuisances sonores pour les autres locaux de classe. La présence de grilles de transfert d'air rend difficile l'isolation acoustique entre locaux. Dans ce cas, deux solutions peuvent être envisagées :

- l'utilisation de grilles de transfert acoustiques. Celles-ci plus larges se placent plus aisément dans les murs que dans les portes. Elles génèrent en outre plus de pertes de charge qu'une grille traditionnelle;
- équiper les locaux à isoler de leur propre extraction, éliminant ainsi le transfert d'air.

#### → Besoin de préchauffer l'air neuf

En période hivernale ou en mi saison, quand la différence de température entre l'ambiance intérieur et l'extérieur est importante, l'importance des débits d'air neuf demandés peut provoquer un certain inconfort thermique.

Pour éviter la sensation de courant d'air froid, l'idéal est de pouvoir préchauffer l'air neuf à une température minimum. Le préchauffage de l'air ne sera possible qu'avec une pulsion mécanique de l'air intégrant une batterie de chauffage. Dans le cas d'une pulsion mécanique, le préchauffage de l'air neuf a également pour but d'éviter de faire circuler de l'air trop froid dans les conduits, ce qui peut provoquer des condensations.

Il existe différents moyens de préchauffer l'air neuf :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- par batterie à eau chaude ou résistance électrique
- par récupération de chaleur sur le condenseur d'un groupe frigorifique (dans le cas d'un système de climatisation existant)
- par récupération passive, via une zone tampon du bâtiment (atrium,...) ou via un puits canadien qui utilise l'inertie du sous-sol
- par récupérateur de chaleur sur l'air extrait. Cette solution est énergétiquement très intéressante. Elle permet de récupérer de 50 à 85 % (en fonction du type du récupérateur choisi) de l'énergie rejetée par l'extraction d'air.

### → Combiner ventilation et chauffage

Dans le cas d'une rénovation énergétiquement poussée de bâtiments scolaires, il paraît difficilement envisageable de combiner la ventilation et le chauffage des locaux. Et ce pour les raisons suivantes :

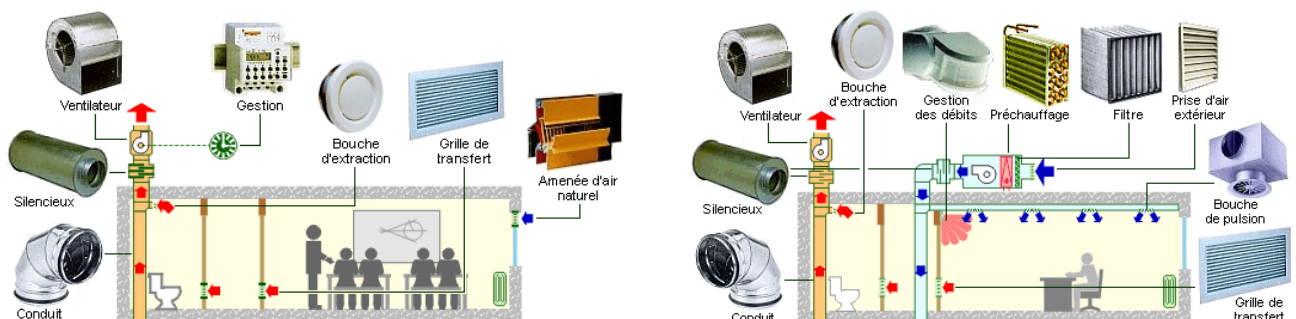
- la non simultanéité des besoins : les locaux de classe doivent être chauffés avant l'arrivée des élèves, idéalement avant 8h30 le matin. S'il n'y a pas d'élèves dans les locaux, ceux-ci ne doivent pas être ventilés...
- la combinaison des deux systèmes complique fortement la gestion et le contrôle des systèmes

### → Possibilités d'implantation des systèmes de ventilation en rénovation

Les systèmes de ventilation proposés ci-dessus se différencient par leur encombrement et les modifications qu'ils imposent dans un bâtiment existant.

La ventilation simple flux est la plus facile à implanter. En fonction de la configuration du bâtiment, elle peut se réaliser sans beaucoup de gainage.

La ventilation double flux impose une distribution de l'air dans tous les locaux. Elle nécessite un réseau de conduites verticales et horizontales implantés généralement dans les faux plafonds



### → Consommation énergétique et coûts

Il est important, en rénovation, avant d'installer ou optimiser un système de ventilation, de comparer les performances que l'on espère obtenir, l'investissement à consentir et les coûts d'exploitation du système.

Au niveau de l'investissement, plus la mécanisation est importante, plus l'investissement est important. Il en est de même pour les frais d'exploitation.

Par contre, le système double flux permet une meilleure maîtrise des débits, donc des déperditions de chaleur par ventilation. Les consommations peuvent être réduites en utilisant un récupérateur de chaleur.

Le système double flux permet également une gestion automatique par local des débits de ventilation en agissant directement au niveau des bouches de pulsion, par exemple en fonction de l'occupation des classes. Ceci n'est actuellement pas possible en ventilation simple flux.

#### 1.6.2.6. Ventilation et filtration

L'objectif premier du système de ventilation est d'apporter de l'air neuf dans un local ou dans un bâtiment de manière à répondre au confort respiratoire des occupants ou à un niveau de qualité de l'air intérieur.

Selon cet objectif le système de filtration de l'air est important. La filtration sur le système de ventilation, permet d'éliminer les particules polluantes de l'air :

#### Filtration des polluants extérieurs :

L'air extérieur introduit dans les locaux est filtré soit par simple passage au travers d'un filtre.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Filtration des polluants intérieurs :

Elle se fait par un système de recirculation de l'air intérieur au travers d'un filtre qui augmente la dilution des polluants. Les filtres peuvent être placés sur les circuits d'aspiration d'air neuf extérieur, sur les circuits de reprise d'air avant le recyclage, sur les circuits de distribution d'air dans les locaux ou sur les circuits d'air repris, avant la batterie de récupération de chaleur.

#### → Efficacité et degré de filtration

L'efficacité d'un filtre est caractérisée de façon précise par une série de grandeurs dépendant des caractéristiques de l'air entrant : température et humidité, teneur en poussières et/ou granulométrie, nature et structure des poussières.

Des filtres trop grossiers vont entraîner la propagation des poussières au travers de l'installation, nuisant aux équipements et au confort.

Des filtres trop performants vont augmenter inutilement les pertes de charge et par la même occasion, la consommation des ventilateurs pour un même débit à fournir.

Il est donc nécessaire de dimensionner l'installation de filtration en choisissant le compromis qui consiste à garantir la maîtrise de la qualité particulaire et bactérienne sans toutefois verser dans la «surfiltration» consommatrice d'énergie.

### 1.6.2.7. Ventilation et rénovation

En rénovation de bâtiments scolaires, deux cas peuvent se présenter :

#### **Aucun système de ventilation n'est installé (cas de la plupart des écoles en Belgique) :**

La ventilation par ouverture des fenêtres est l'unique moyen de ventilation utilisé, bien qu'elle ne réponde pas aux critères d'hygiène et de confort :

- le confinement de l'air d'une salle de classe normalement occupée et ventilée par ouverture des fenêtres aux interours est atteint après un quart d'heure d'occupation. De plus, la ventilation est totalement liée à la bonne volonté des occupants ;
- l'ouverture des fenêtres engendre d'importants mouvements d'air froid, ce qui rend quasiment impossible la ventilation continue en période d'occupation, c'est-à-dire pendant la production des polluants

#### **Un système de ventilation est installé (cas de la Norvège ou le Danemark)**

Lorsqu'on rénove un bâtiment scolaire possédant déjà un système de ventilation et que l'on se fixe des objectifs énergétiques, il y a lieu de vérifier que le système de ventilation existant est adapté aux nouveaux besoins (configuration spatiale, nombres de locaux, ...), sous risque de voir apparaître des problèmes de condensations et de moisissures (dus à l'humidité) et de mettre en péril de la durabilité du bâtiment et la qualité de l'air.

L'installation existante peut également être peu performante (bruit, débit d'air,...) et doit lors de la rénovation du bâtiment, être optimisée pour garantir à la fois le confort thermique, le confort acoustique et la qualité de l'air tout en limitant les consommations énergétiques.

#### → Mise en place d'un système de ventilation

Intégrer un système de ventilation n'est pas une chose aisée en rénovation et dépend fortement de la typologie du ou des bâtiments et de la configuration spatiale des locaux de classes.

L'intégration d'un système de ventilation doit donc être pris en compte dès la conception du projet avec en condition préalable, une étanchéité correcte du bâtiment.

L'ensemble des critères repris plus haut permettront au concepteur et au maître d'ouvrage de faire un choix adapté.

Avant de faire un choix sur le type de ventilation à intégrer, certaines mesures préliminaires sont cependant nécessaires :

- calculer les débits minimaux à assurer dans les différents locaux scolaires ;
- s'assurer que les espaces techniques disponibles sont suffisants pour intégrer un système de ventilation double flux, notamment au niveau des trémies verticales et des hauteurs de faux-plafonds dans certains locaux (couloirs, halls,...)
- s'assurer qu'on dispose d'un espace technique suffisant important pour accueillir le ou les récupérateurs de chaleur

Le système de ventilation doit également être envisagé en fonctions d'autres paramètres:

- la performance de l'enveloppe en termes d'étanchéité à l'air : si l'enveloppe est très performante, on envisagera un système D qui permet de limiter les déperditions par ventilation ;
- le remplacement ou non des châssis : s'il y a remplacement des châssis, on peut envisager un système C avec

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- prise d'air au niveau des châssis ;
- dans le cas de réfection de façades, des systèmes décentralisés de ventilation peuvent également être envisagés.

### → Entretien de l'installation existante

*Ces prescriptions valent tant pour une installation existante que pour une nouvelle installation. Il est à noter que dans certains pays européens ou scandinaves, un contrôle systématique et périodique des installations de ventilation est obligatoire. C'est le cas en Suède où les installations de ventilation dans les écoles doivent être contrôlées tous les 2 ans.*

L'ensemble du système de ventilation doit être régulièrement entretenu, tant du point de vue de l'efficacité énergétique que du point de vue du confort respiratoire. L'entretien complet d'une installation consiste à :

### L'entretien des ventilateurs

Les composants de ventilateurs doivent être graissés avec les lubrifiants appropriés, aux intervalles recommandés par le fabricant. Les composants dureront ainsi plus longtemps et le rendement du ventilateur en est augmenté.

Pour bien fonctionner, les ventilateurs, tout particulièrement ceux qui déplacent de l'air pollué ou chargé de poussière, doivent être nettoyés à intervalles réguliers. L'accumulation de saletés augmente les pertes de pression statique et réduit ainsi l'efficacité et la puissance du ventilateur.

L'entretien des ventilateurs consiste également à régler le niveau de bruits et de vibrations du ventilateur.

### Entretien des filtres

L'ensemble des filtres sur le système de ventilation est la garantie du respect de la qualité de l'air dans les zones desservies par celui-ci. Il est impératif d'assurer régulièrement le suivi et l'entretien des filtres par le contrôle des pertes de charge traduisant leur état d'encrassement.

Lorsque le filtre est encrassé, le débit diminue et les pertes de charge augmentent; ce qui se traduit par une perte de qualité de filtration, un risque de non-respect des pressions différentielles entre zones, ...

### → Optimisation du système de ventilation existant

Après l'entretien de l'installation existante (nettoyage du ventilateur et des filtres), on effectuera une inspection de celle-ci de manière à cerner clairement les points faibles ou les défauts. Un système de ventilation existant peut, lors de travaux de rénovation, être optimisé notamment au niveau des points suivants :

### Amélioration du réseau de distribution

#### Étanchéifier l'installation

L'étanchéité des réseaux de ventilation existants est réputée comme étant généralement très mauvaise.

Cependant, il est difficile, en rénovation, de procéder à l'étanchéification (bandes adhésives, mastic, ...) de tout un réseau, même si celui-ci est apparent. Tout au plus peut-on remédier aux plus grosses fuites.

La solution idéale est le remplacement complet des conduits de distribution rectangulaires par des conduits circulaires à double joints aux raccords.

#### Rééquilibrer l'installation

Équilibrer une installation signifie assurer dans chaque local le débit d'air nécessaire, tout assurant le confort de l'occupant et l'efficacité énergétique du système.

### Gestion des débits – rénovation partielle

#### Gestion horaire de la ventilation

Le contrôle du temps de fonctionnement est ce que l'occupant (ou l'école) peut gérer le plus facilement lui-même. Les interventions sont simples et les gains en énergie importants.

Une horloge va commander le système de ventilation et les débits en fonction des horaires de cours et d'occupation des locaux. Dans le choix de ce mode de gestion, certaines précautions de base sont à prendre :

- Adapter le nombre d'heures de fonctionnement et l'horaire d'exploitation lorsque les besoins et les affectations des locaux changent.
- Contrôler régulièrement la programmation de l'horloge
- Modifier l'horaire en fonction des saisons : idéalement, lorsqu'on n'a pas besoin de chauffer les locaux de classe, il faudrait arrêter le système de ventilation et ouvrir les fenêtres dans les locaux de classe



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Gestion de la ventilation à la demande

La gestion de la ventilation à la demande consiste à moduler les débits de ventilation en fonction du taux d'occupation des locaux. Un capteur (détection de présence, sonde CO<sub>2</sub>, ...) commande soit les bouches de distribution de l'air, soit directement la vitesse du ventilateur.

### Placement de sonde de qualité de l'air - sonde CO<sub>2</sub> ou sonde COV ?

Le CO<sub>2</sub>, dioxyde de carbone, est représentatif du nombre d'occupants et donc, de façon indirecte, des polluants dégagés par les usagers, comme les odeurs.

Le taux de CO<sub>2</sub> constitue un paramètre intéressant pour le réglage de la ventilation des locaux à occupation intermittente car il est représentatif du nombre d'occupants et de façon indirecte, des polluants dégagés par les usagers, comme les odeurs.

La mesure des Composés Organiques Volatiles (VOC en anglais) est surtout réalisée dans les lieux fortement pollués par la présence de fumée de tabac ou d'odeurs. Ce type de sonde présente en effet une grande sensibilité aux odeurs d'origine humaine, à la fumée de cigarette et aux émissions provenant des matériaux d'ameublement et de décoration, aux produits d'entretien ménager,...

Dans le cas d'une rénovation de bâtiment scolaire, on préférera la sonde CO<sub>2</sub> avec un réglage autour de 1000ppm.

Celle-ci doit être correctement implantée dans le local de classe, c.-à-d. :

- suffisamment éloignée des portes et fenêtres afin d'éviter l'influence de l'air extérieur ;
- suffisamment éloignée des occupants du local (minimum 2 m) ;
- à un endroit où la circulation de l'air est correcte.

### **Placement d'un récupérateur de chaleur – rénovation partielle**

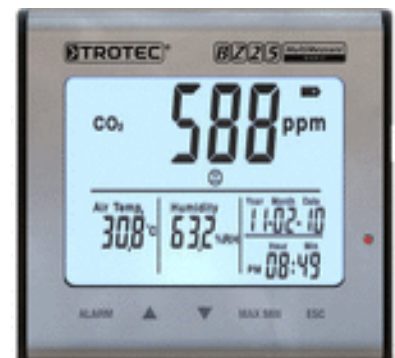
L'air neuf de ventilation, après avoir été porté à la température de confort à l'intérieur du bâtiment, est rejeté à l'extérieur alors qu'il a un niveau énergétique supérieur à l'air extérieur que l'on introduit. On parle d'une enthalpie (un contenu en chaleur) plus importante que l'air extérieur.

L'idée est de transférer cette chaleur de l'air extrait vers l'air neuf. Un récupérateur de chaleur sur l'air extrait permet, en gros, de récupérer (50 à 85 %) de la consommation pour la préparation de l'air neuf.

Pour autant que techniquement ce soit possible, l'adaptation d'un système de récupération de chaleur sur l'air extrait est d'autant plus intéressante que l'on a :

- des débits élevés ;
- un usage permanent de l'installation de ventilation ;
- un ventilateur et son moteur surdimensionnés au départ

La récupération de chaleur sur le système de ventilation est expliquée dans la deuxième partie du guide « Techniques et efficacité énergétique »



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.7. L'École, un espace pour apprendre et enseigner

L'école devrait toujours être pour l'enfant une expérience joyeuse et enrichissante, tant du point de vue apprentissages que du point de vue de sa socialisation. Cela ne peut se faire que si les enfants, leurs rythmes, leur intelligence personnelle et diverse, leur sensibilité, leur motivation, leur plaisir d'apprendre, sont au centre du projet pédagogique mais également au centre du projet de rénovation.

Les apprentissages de l'enfant se font aussi par le ou les lieux dans lesquels ils évoluent. Ces lieux, s'ils invitent l'enfant à des expériences sensorielles, motrices et relationnelles, sont des piliers importants dans l'acquisition de l'autonomie et le développement psychocorporel des enfants.

La rénovation de l'école, doit dans son approche spatiale et sa gestion des espaces (articulation entre les espaces, aménagement des espaces,...), permettre d'améliorer ou de favoriser les apprentissages des élèves et de soutenir les enseignants dans leur transmission des savoirs et des valeurs citoyennes ainsi qu'encourager l'échange et la coopération entre les différents acteurs.

Les bâtiments scolaires, dans leur rénovation et réaménagement doivent donc être considérés comme des espaces éducatifs pour des enfants en développement ou en construction. Pour ce faire, il serait intéressant d'inclure dans l'équipe de travail, un sociologue et un psychologue.

#### 1.7.1. Spacialité et pédagogie

Aménager les espaces scolaires lors d'un projet de rénovation consiste à harmoniser ces espaces avec le projet éducatif de l'école, avec une pratique pédagogique et des objectifs d'apprentissage.

Aujourd'hui, il existe de nombreuses pédagogies ou manières d'éduquer. Les pédagogies de Montessori, de Steiner, de Freinet, pédagogie explicite, documentaire ou par résolution de problèmes en sont quelques exemples. Chacune de ces pédagogies nécessite des besoins particuliers en termes d'espace et d'usage. En outre, les élèves se déplacent davantage en classe et entre les différents locaux scolaires, bien plus qu'il y a 30 ou 50 ans, période à laquelle la plupart des écoles ont été construites.

L'aménagement intérieur d'une école doit offrir de multiples occasions de faire des expériences, qu'elles soient sensorielles ou motrices mais également offrir un cadre de vie rassurant, sécurisé et protecteur. Il est donc fondamental que cet aménagement soit chaleureux, structuré et diversifié mais également axé sur l'enfant et ses spécificités.

##### 1.7.1.1. L'enfant, un usager spécifique

L'enfant est un usager spécifique. De taille plus petite que l'adulte, il a un métabolisme qui n'est pas encore mature. L'enfant, en âge de scolarisation est en pleine croissance mais également dans l'apprentissage des règles de vie et savoirs fondamentaux. Il a un énorme besoin d'espace pour bouger, jouer, créer, inventer.

D'après le docteur S.Déoux :

- de trois à six ans, l'enfant est un être de pulsion, de sensibilité. Il apprend par le corps et par les expériences sensorielles. C'est la variété et la richesse des expériences vécues qui le conduisent à réfléchir sur une situation, à raisonner, à décider ou à formuler des choix.
- vers sept ans, l'enfant se replie d'abord sur lui-même. Il s'efforce de comprendre ses nouvelles découvertes à partir de ses anciennes expériences, de les assimiler, de les organiser. Cette réflexion importante lui permet d'acquérir un jugement plus mûr et un sens critique, d'être accessible au raisonnement de l'adulte et de



Espace de lecture et de relaxation - Image : Catherine Massart



Local de classe primaire - Image : Sylvie Rouche



surmonter des situations où son affectivité est très engagée. Petit à petit, l'enfant va passer de la réflexion à l'expansion. Assoiffé de connaissances et d'explications logiques, l'enfant cherche à améliorer ses connaissances.

### 1.7.1.2. Les classes de l'enseignement maternel

L'école maternelle pose les bases pédagogiques et éducatives sur lesquelles vont s'appuyer et se développer les apprentissages futurs. Ces bases sont acquises et appropriées par le jeu qui est l'activité spontanée de l'enfant. A travers le jeu, l'enfant va exercer développer ses capacités motrices, relationnelles et intellectuelles. Il va apprendre à nommer des sensations, des émotions, il va intégrer des savoir-faire et des savoir-être et prendre goût à la découverte et l'expérimentation.

Pour se faire il a besoin d'espaces diversifiés permettant une alternance de moments de calme, de détente, d'écoute, d'activités à consigne, de jeux libres et de dévouement.

Les classes de maternelles, dans leur aménagement, devront répondre à ces différents besoins tout en tenant compte des besoins de l'enseignant : surveillance, attention, facilité d'expression...

### 1.7.1.3. Les classes de l'enseignement primaire

L'école primaire ou élémentaire place l'enfant entre un enseignement qu'il reçoit et l'apprentissage qu'il construit. L'enseignant va le mettre dans des situations où il peut s'investir complètement totalement et où toutes ses capacités (motrices, affectives et intellectuelles) sont mobilisées.

Durant cette période, l'enseignant mais aussi l'aménagement des locaux de classe doivent la réalisation des apprentissages en stimulant la curiosité et la créativité de chaque enfant, tout en respectant son autonomie.

## 1.7.2. Une école accessible à tous

Permettre à chacun d'accéder à l'intérieur d'un bâtiment à partir de l'espace public, de manière cohérente et continue, en prenant toutes les dispositions nécessaires dans un souci d'autonomie, de confort et de sécurité constitue l'accessibilité. Elle est une condition essentielle à l'intégration de l'enfant et de l'adulte à la vie sociale (et économique) de l'école puisqu'elle permet à toute acteur de l'école de profiter et de bénéficier de tous les espaces et équipements donnés au travail, aux apprentissages, à la détente et/ou à la rencontre.

L'accessibilité concerne l'ensemble des usagers habituels du bâtiment scolaire mais également les visiteurs occasionnels lors des fêtes d'école, de réunions de parents et d'activités extra-scolaires. Il faut considérer que parmi eux, un certain nombre présentent une difficulté due à un handicap temporaire ou permanent ou généré par des circonstances particulières.

L'objectif, lors de la rénovation est d'adapter le bâtiment scolaire au déplacement et à l'utilisation des espaces par les personnes se déplaçant en fauteuil roulant dans toutes les zones internes et externes du bâtiment : zones de parking, zones de circulation intérieure, cours de récréation, hall d'entrée, sanitaires, classes...

*Chaque pays européen a légiféré en matière d'accessibilité. Chaque concepteur se référera donc aux législations en vigueur et adaptera le ou les bâtiments à rénover en fonction.*

### 1.7.2.1. Accessibilité – les grands principes

#### → Dimensionnement

La dimension en largeur d'une personne sans handicap temporaire ni permanent est de 60 à 80 cm. La dimension en largeur d'une personne se déplaçant à l'aide de béquilles est de 90cm. La dimension en largeur d'une personne en fauteuil roulant manuel ou électrique est de 86 à 88cm (diamètre de 150 cm à 180cm)

#### → Les espaces de parking

Il est souhaitable de prévoir 5% de places donnant accès aux personnes en fauteuil roulant. Une bande d'accès horizontal de 80cm de large sera aménagée sur toute la longueur de l'emplacement. Une largeur de 3m75 est recommandée.

#### → Les cheminements horizontaux (extérieurs and intérieurs)

Le cheminement sera de préférence horizontal et/ou de plain-pied tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du bâtiment ;

Sa dimension en largeur sera de minimum 150cm pour un cheminement principal et de 120cm pour un cheminement secondaire. La largeur du chemin doit permettre le croisement d'une personne en fauteuil roulant avec une autre, celle-ci pouvant tenir un enfant par la main ou le conduire en poussette.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Une zone de manœuvre de 150 cm de diamètre doit être prévue devant chaque porte ou passage, et à chaque angle du parcours.

La surface au sol ne peut présenter aucun obstacle au pied ou à la roue. Le revêtement de sol doit être non meuble, non glissant et présenter une surface plane et régulière. On évitera les revêtements extérieurs tels que la terre, la dolomie et les graviers ainsi que les matériaux lisses et les revêtements intérieurs tels que tapis.

Le cheminement sera éclairé correctement. L'éclairage artificiel, quand il est nécessaire, sera diffus et indirect, évitant les effets de contraste et d'éblouissement. Il sera situé dans une zone supérieure ou inférieure au niveau du regard, le long du cheminement, et au-dessus d'un accès ou d'une porte. Le cheminement sera signalé au moyen du symbole international d'accessibilité en blanc sur fond bleu (dessin) qui sera placé de manière visible au début de parcours, près d'une porte d'entrée ou de garage ainsi que sur les équipements destinés aux personnes à mobilité réduite. Toute autre indication sera lisible à la hauteur du regard d'une personne debout et à celui d'une personne en fauteuil roulant, entre 1 m et 1m60. Le parcours ne peut être entravé par divers équipements : boîte aux lettres, poubelles, distributeurs de boissons, plantes...

### → Les différences de niveaux ou dénivelées

Le parcours peut comporter des différences de niveaux. Pour assurer la continuité de celui-ci, le plan incliné sera la solution appropriée. L'angle de pente doit être confortable (maximum de 5%) et est la plupart du temps réglementé.

La sécurité doit être assurée par des mains courantes et des bordures disposées de chaque côté du plan incliné.

### → Les portes

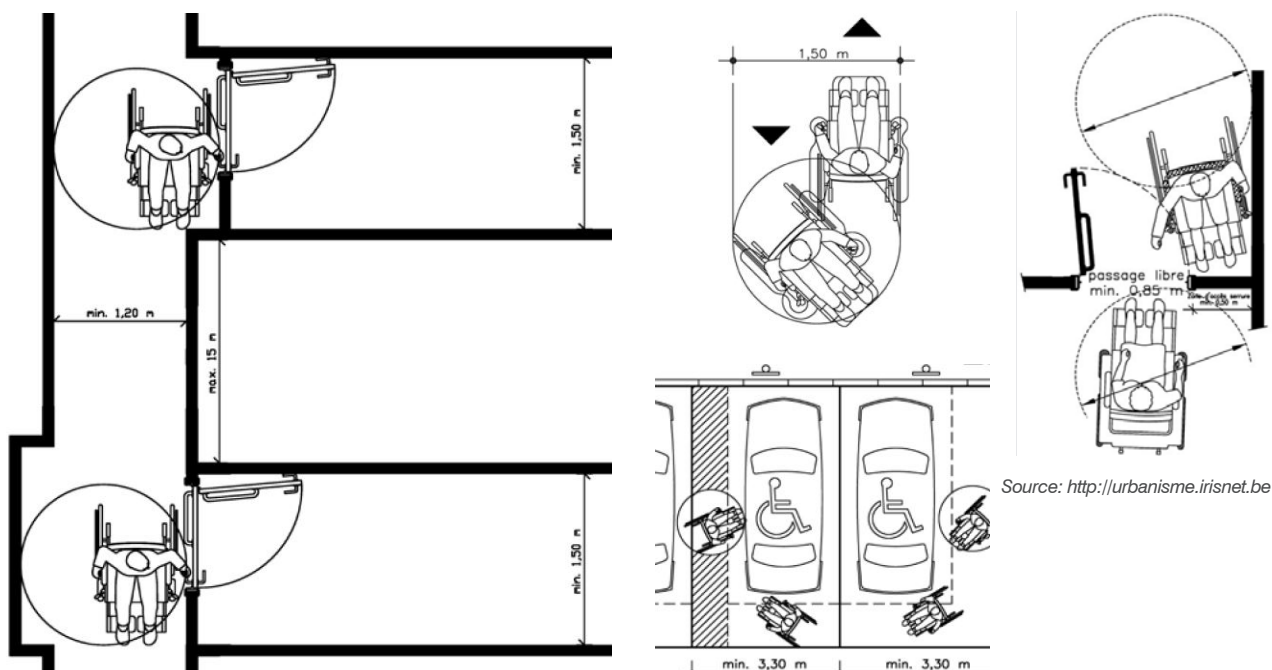
L'accès à toutes les portes sera, si possible, de plain-pied. La largeur du passage de la porte constitue une donnée importante ainsi que le dimensionnement des zones situées à l'avant et à l'arrière de la porte. On recommande généralement un passage libre égal ou supérieur à 90 cm. Une zone de manœuvre de 150 cm de diamètre doit être prévue devant chaque porte ou passage, et à chaque angle du parcours. La position en hauteur de la poignée ou de la lisse horizontale, du bouton poussoir, de l'interphone ou de l'interrupteur ainsi que leur distance par rapport à un autre mur que celui sur lequel ces équipements se trouvent doivent être correctement évaluées. On sera également attentif au poids des portes, au sens d'ouverture et à la présence de seuils dans le cas de portes extérieures.

### → Les équipements sanitaires

L'agencement des sanitaires doit permettre l'implantation d'une zone de rotation de 1m50 en dehors de l'espace dédié à la porte et aux installations sanitaires. De manière générale, on préconise les dimensions suivantes 150 x 200 cm ou 220 x 220 cm (très confortable). Le WC est de type suspendu et est muni d'une ou de deux poignées rabattables selon sa position. La porte d'accès s'ouvre vers l'extérieur.

### → L'aménagement des autres locaux scolaires

L'ensemble des locaux scolaires doivent être aménagés de manière à en faciliter l'accès. Il s'agit notamment du réfectoire



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



et de la bibliothèque où la hauteur des comptoirs sera adaptée. Les sièges et/ou les banquettes sont positionnés de telle sorte qu'un espace libre de 1m30 sur 80cm puisse recevoir une personne en fauteuil roulant.

### 1.7.3. Rénovation des écoles, comment répondre aux besoins actuels et futurs

Un élément clé de la qualité d'usage et de l'évolutivité d'un bâtiment scolaire est son adaptabilité à court et long termes:

- **à court terme** : le bâtiment, les locaux et leur aménagement doit répondre aux besoins actuels de la pédagogie. Les apprentissages consistent en une succession d'activités différentes : assis en silence à son bureau, travail de groupe, manipulation, déplacements fréquents. Suivant l'activité, le nombre d'enfant peut également varier (classes en cycle notamment).

Le dispositif et l'aménagement de la classe ne doit donc pas être figé mais au contraire offrir différentes possibilités d'aménagement. L'aménagement de l'espace dédié à l'un ou l'autre apprentissage doit également donner du sens à cet apprentissage et le soutenir. La surface ou les dimensions de la classe doivent fournir un espace pour des apprentissages individualisées, des apprentissages par groupe de travail ou encore des apprentissages avec un grand nombre d'élèves.

- **à long terme** : la population d'une école mais aussi d'un quartier peut fortement évoluer en 10, 15 ou 20 ans. La durée de vie des bâtiments scolaires et leur composants est plus importante que ce laps de temps. Il est donc important que les bâtiments scolaires puissent s'adapter aux différents besoins de l'école et de son quartier et aux changements à moindre frais, à moindre utilisation de ressources et à moindre production de déchets.

#### 1.7.3.1. Flexibilité, neutralité, évolutivité

Tout bâtiment construit ou rénové aujourd'hui est appelé à subir des évolutions dans son utilisation, que ce soit dans son aménagement intérieur ou son affectation. Les manières de vivre, d'habiter, de travailler et d'apprendre évoluent rapidement et dans des laps de temps plus courts que la durée de vie d'un bâtiment. **L'adaptabilité du bâtiment traduit sa capacité à subir des changements sans affecter son usage ni les services qu'il rend.** Ces modifications doivent pouvoir s'effectuer selon une démarche durable et à un moindre coût environnemental et financier.

##### → La flexibilité

La flexibilité d'un bâtiment se mesure à la facilité de restructuration de ses espaces intérieurs. Elle suppose un plan modulable, des ouvrages intérieurs démontables, voire réutilisables ainsi que des réseaux facilement accessibles. Ces travaux de restructuration doivent pouvoir s'effectuer lorsque le bâtiment est occupé et avec un minimum de nuisances et de production de déchets.

##### → L'élasticité

L'élasticité est la capacité d'extension d'un bâtiment. La réponse la plus simple et la plus courante consiste en une extension sur une partie du terrain réservée à cet effet. Mais on peut imaginer d'autres types d'extension :

- horizontales : développement de niveaux au-delà des façades initialement construites
- verticales : surélévation, occupation des sous-sols ou reprise en sous-œuvre

L'élasticité suppose une réflexion particulière sur le plan masse, la volumétrie et l'aménagement intérieur mais aussi sur le système constructif et structurel du bâtiment et des façades.

##### → L'évolutivité

L'évolutivité désigne la capacité d'un bâtiment à intégrer les évolutions ou innovations aussi bien en matière de performances techniques (chauffage, ventilation, éclairage) que de mode de vie ou de conception des espaces de travail ou de service. Elle suppose une certaine neutralité du bâtiment (structure, enveloppe, aménagement intérieur) par rapport aux équipements techniques.

##### → Neutrality

La neutralité est la capacité du bâtiment à accepter un changement important d'usage. Celle-ci suppose un travail particulier sur les volumes, les noyaux techniques et structurels du bâtiment.

Ses notions doivent être prises en compte lors de la rénovation ou du réaménagement des locaux scolaires. On retiendra comme principes directeurs :

- privilégier les techniques sèches ou techniques démontables
- privilégier une trame ou une modularité

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- privilégier les modes de fixation mécanique qui permettent un démontage plus aisé
- privilégier les techniques apparentes
- si cela est possible (situation idéale) surdimensionner ou doubler certains équipements techniques

### 1.7.3.2. Qualité d'usage des locaux scolaires

La qualité d'usage d'un local est définie comme sa capacité à être utilisé, employé correctement et à répondre aux besoins. Cette qualité d'usage réside d'une part dans l'aménagement intérieur (volumétrie, surface, finitions, mobilier) et dans le confort qu'il offre aux occupants (visuel, acoustique, thermique) et d'autre part dans sa facilité d'utilisation, d'entretien et de maintenance.

#### → La classe de maternelle

Une classe de maternelle doit être en mesure de proposer une différenciation d'espaces affectés à des activités particulières (jeux, activités manuelles, peinture, lieu de rassemblement...). Elle n'est quasiment jamais configurée de manière linéaire face à un tableau. **Ces espaces doivent être facilement modulables**, car chaque enseignant peut avoir une approche singulière pour organiser l'espace de sa classe. Une base carrée ou légèrement rectangulaire est souvent préférable à un volume allongé. Une forme en « L » peut également être intéressante, pour peu que la totalité de la surface puisse toujours être surveillée par une seule personne.

- surface utile : en moyenne entre 60 et 90 m<sup>2</sup>
- capacité : en moyenne entre 20 et 30 enfants

#### → La classe primaire / élémentaire

Une classe élémentaire doit être en mesure de proposer un espace favorisant les apprentissages tout en étant facilement modulable. L'emplacement du tableau et son éclairage nécessitent une attention particulière, car chaque élève doit être capable de lire correctement et facilement ce qui y est écrit: bien positionné par rapport à toutes les bancs, pas de reflets ou d'éblouissement... Une base carrée ou légèrement rectangulaire est souvent préférable à un volume allongé.

- surface utile : en moyenne entre 60 et 90 m<sup>2</sup>
- capacité : en moyenne entre 20 et 30 enfants

#### → L'atelier ou le laboratoire

Les ateliers sont utilisés pour les travaux ne pouvant être réalisés dans la salle d'exercice (expérimentation, peinture, travaux de langage...). L'atelier apporte une fonction de flexibilité à l'espace de la classe, en permettant aux enseignants d'organiser des travaux en demi-groupes, tout en pouvant facilement encadrer chacun d'entre eux. Pour faciliter cette surveillance, il est intéressant de prévoir des parties vitrées (discontinues) qui puissent être occultées en cas de besoin. Pour une plus grande flexibilité d'usage, il peut être envisagé de rendre l'atelier accessible directement depuis les circulations ; une liaison directe avec la cour peut également s'avérer intéressante.

- surface utile : en moyenne entre 30 et 45 m<sup>2</sup>
- capacité : en moyenne entre 10 et 15 enfants

#### → L'espace de stockage du matériel

L'espace de stockage du matériel commun sert principalement de réserve de petit matériel, cet espace peut également recevoir des objets encombrants, créés dans le cadre d'activités manuelles. Cet espace doit être à proximité des classes et des ateliers. Il peut être directement intégré à l'espace d'atelier.

Il doit être de forme simple, facilitant le rangement. L'accès doit permettre le passage d'objets ou de mobiliers volumineux. Cet espace doit être sécurisé vis à vis des enfants.

#### → Le vestiaire

Les vestiaires constituent un passage obligé entre l'extérieur et l'intérieur de la salle de classe. Les enfants y déposent leurs vêtements chauds, et éventuellement leurs chaussures, pour accéder à la classe. Lors des périodes d'intempérie et en hiver, le vestiaire doit permettre d'assurer le séchage rapide des vêtements et des chaussures.

Les vestiaires doivent être conçus comme une alcôve séparée des espaces de circulation. De cette manière, les enfants qui se changent ne gênent pas le passage des autres.

Les vestiaires constituent également une zone tampon entre les circulations et les salles de classe, ou entre l'extérieur et les salles de classe.

- Espace utile par enfant : en moyenne 50 cm de large
- Un porte-manteau par enfant. Les patères doivent être solidement fixées et permettre un accrochage efficace des

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Equipements sanitaires - Images: Catherine Massart, Sylvie Rouche



Réfectoire école primaire - Image: Sylvie Rouche

manteaux

- Bancs fixes sous les porte-manteaux pour chaque enfant. Les élèves doivent pouvoir être assis en même temps.
- Casiers éventuels
- Grilles éventuelles porte-chaussures (en hiver, pour les bottes et bottines) et au-dessus des porte-manteaux (pour les bonnets, écharpes et gants)

### → Les équipements sanitaires

Les sanitaires doivent occuper une position centrale par rapport à la zone de classes (maternelles ou élémentaires). Ils doivent être facilement accessibles depuis la cour de récréation et une communication directe avec les vestiaires est également souhaitable. Cet espace doit préserver un maximum d'intimité au niveau des WC et favoriser l'apprentissage de l'hygiène

### → La salle de repos (classes maternelles)

La salle de repos permet aux enfants qui en ont besoin ou qui le souhaitent de faire une sieste, notamment après le déjeuner. Le plus souvent, ce sont les plus petits qui s'y rendent quotidiennement. Il est souhaitable que les salles de repos soient situées à proximité des salles de classes maternelles, pour permettre aux enfants qui se réveillent de rejoindre leur classe, mais aussi pour en faciliter la surveillance par un enseignant. Il est également important que la salle de repos soit en relation directe ou à proximité de sanitaires.

- surface utile : en moyenne entre 40 et 50m<sup>2</sup>
- capacité : 30 enfants
- volume simple facilitant la disposition de lits.
- l'ambiance de ce lieu doit être feutrée et propice au repos.

### → Les circulations

Les circulations assurent la distribution des espaces et la liaison entre espaces de classe et autres espaces scolaires. Il est important que les circulations offrent des espaces généraux et diversifiés et qu'ils permettent également l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

- surface utile : 10 à 15% de la surface totale des autres locaux

### 1.7.3.3. Espaces modulaires ou à moduler entre plusieurs classes

Certains espaces comme les ateliers, les vestiaires ou les sanitaires peuvent être partagés entre deux ou plusieurs classes

Exemples :

- L'organisation d'un atelier partagé par deux salles de classes avec une liaison directe (surface vitrée) permet d'en faciliter l'utilisation. Ainsi un enseignant peut, sans quitter sa classe, assurer la surveillance du groupe qui reste en classe et du groupe travaillant dans l'atelier.
- Les vestiaires, comme les sanitaires peuvent être partagés entre plusieurs classes
- L'utilisation de lits empilables dans la salle de repos permet d'utiliser cet espace occasionnellement pour d'autres activités nécessitant un faible niveau d'éclairage (projections,...)
- L'élargissement des circulations permet l'utilisation de ces espaces comme zone d'exposition de travaux

L'atelier peut être également être conçu comme un espace modulaire, avec des parois coulissantes ; ce qui permet le cas échéant d'agrandir l'espace de classe.

Il est également intéressant de prévoir un espace relativement grand, neutre et flexible pouvant servir à différentes acti-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



vités de l'école :

- espace de jeux en cas de très mauvais temps ;
- espace pour l'organisation d'évènements propres à la vie de l'école : soupers, séance cinéma, concert, théâtre, exposition des travaux...

Cet espace pourrait, sous certaines conditions, être utilisé par les habitants du quartier, créant ainsi un lien direct entre l'école et le quartier.

### 1.7.3.4. Facilité d'usage de bâtiments performants : simplification des installations techniques et leur régulation

Les rénovations de bâtiment visent à optimiser tant le bâtiment que les différentes techniques ou systèmes qui y sont intégrés (chauffage, ventilation, climatisation, éclairage...). Si une installation bien conçue est un élément essentiel pour un fonctionnement efficace, il faut aussi que l'exploitation quotidienne se fasse de manière optimale. Celle-ci nécessitent l'intervention de:

#### → La régulation

Il est important que le contrôle, le «pilotage», de l'installation se fasse de manière correcte et cohérente durant toute la durée d'utilisation. Dans bien des cas, on trouve des installations modernes dont la régulation ne fonctionne pas bien (ou plus bien), grevant ainsi de manière significative les performances énergétiques.

#### → La personne en charge des installations techniques

Dans de nombreuses écoles européennes et essentiellement les écoles fondamentales, la personne en charge des installations techniques est le directeur ou la directrice. Ceux-ci n'ont en général pas les connaissances techniques suffisantes pour en comprendre le fonctionnement et la gestion. Ils n'ont également pas le temps de s'attarder à cette problématique vu leur charge de travail.

En outre, la plupart des modes d'emploi des installations et de leur régulation ne sont pas accessibles à une personne non-technicienne. Ce qui signifie que dans de nombreux cas, les installations techniques ne sont pas exploitées de manière optimale. Pour améliorer cette situation qui va à l'encontre de l'efficacité énergétique et du confort, il convient de :

- installer des techniques et des systèmes de régulation simples d'utilisation et efficaces d'un point de vue énergétique ;
- sensibiliser la direction mais également quelques enseignants volontaires aux différentes techniques mises en place dans le bâtiment, leur fonctionnement optimal et leur gestion quotidienne ;
- concevoir des guides d'utilisation ou mode d'emploi relativement simples et didactiques.

### 1.7.4. Apprentissage et nouvelles technologies: quels impacts?

L'utilisation des technologies numériques est aujourd'hui une évidence dans tous les secteurs de la vie économique et ce, y compris à l'école. Au niveau européen, l'étude « Survey of Schools: ICT in Education » dénombre en termes d'utilisation :

- entre 3 et sept élèves par ordinateur en moyenne en Europe; ordinateurs portables, tablettes et netbooks sont de plus en plus présents, mais seulement dans certains pays.
- les tableaux blancs interactifs sont présents dans les écoles (plus de 100 étudiants par tableau blanc interactif), ainsi que des projecteurs de données.

Si nombre des enfants qui fréquentent aujourd'hui l'école sont nés au XXI<sup>e</sup> siècle et n'imaginent même pas un monde où les technologies numériques seraient absentes, une part importante du corps enseignant a été formée à une époque où l'information était encore caractérisée par sa rareté, alors qu'il s'agit aujourd'hui de guider la jeunesse pour qu'elle puisse s'épanouir dans un monde où l'information est devenue surabondante. L'école doit relever ce défi pédagogique mais également énergétique tout en étant attentif à la pollution électromagnétique et autres impacts sanitaires que ces nouvelles technologies peuvent avoir sur la santé des enfants et des enseignants.

#### 1.7.4.1. E-learning, croissance de l'informatique à l'école et gestion énergétique

Le secteur informatique est en pleine évolution. Les ordinateurs deviennent de plus en plus performants. Leur nombre va croissant et ce y compris dans les écoles et dans la vie des enfants. Les ordinateurs, fax ou autres imprimantes sont rarement considérés comme des consommateurs d'énergie, parce qu'ils font partie de l'environnement indispensable de travail, et parce qu'ils développent chacun individuellement une relativement faible puissance.

Cependant, l'expansion de l'informatique a pris une telle ampleur que sa consommation devient un véritable enjeu énergétique pour le secteur tertiaire notamment. Aujourd'hui, dans ce secteur, le poids énergétique de la bureautique est équi-



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



valent à celui de l'éclairage, c'est-à-dire 15 à 30 % de la consommation totale d'électricité. Cette source de consommation d'électricité est en très forte croissance.

Dans les écoles, le développement informatique est également en croissance. Il est donc important de tenir compte de cette problématique dans la gestion énergétique de l'école

### → Que consomment un ordinateur et une imprimante ?

La puissance absorbée par un ordinateur (PC) dépend non seulement de sa structure propre mais aussi des périphériques qu'il doit gérer, comme par exemple : modem, carte son, gestionnaire de réseau, CD-rom,... Cette puissance absorbée est entièrement transformée en chaleur et dissipée dans l'ambiance de travail.

En configuration de base, un PC avec son écran absorbera une puissance moyenne variant de 80 à 160 Watts. Cette puissance est relativement constante durant la période d'enclenchement de l'appareil et dépend très peu du nombre d'accès au disque dur. La puissance absorbée dépend du type de processeur et du type d'écran. Ci-dessous, le tableau reprend les puissances de différents types d'ordinateurs en fonction de son mode de fonctionnement (mode actif, veille, arrêt) :

Type d'ordinateur	Puissance moyenne (W) - source: Energy Star		
	Mode actif	Mode attente	Mode arrêt
PC portable	15	4	4
PC portable économique	25	11	7
PC portable grand format	35	15	7
Petit serveur	60	15	2
PC économique	100	20	10
PC Multimedia	120	20	10
Station de travail	200	40	15

Source: <http://www.energieplus-lesite.be>

Ci-dessous, le tableau reprend les puissances de différents types d'écrans en fonction de son mode de fonctionnement (mode actif, veille, arrêt) :

Type d'écran	Puissance moyenne (W) - source: Energy Star		
	Mode actif	Mode attente	Mode arrêt
Ecran LCD 15" économique*	15	5	5
Ecran 17" LCD haut de gamme	25	5	5
Ecran LCD 17" économique	30	5	5
Ecran LCD 17"	35	5	5
Ecran LCD 15"	40	10	5
Ecran 17" CRT**	60	3	3
Ecran 21" CRT économique	115	5	3

\* LCD: écran à cristaux liquides

\*\* CRT: écran à tube cathodique

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Source: <http://www.energieplus-lesite.be>

### → Quelles sont les charges thermiques ?

On peut considérer que l'entièreté de la puissance consommée par les équipements informatiques se retrouve dissipée dans l'ambiance intérieure sous forme de chaleur. Les charges internes ainsi fournies dans certains locaux ou certaines classes peuvent rapidement devenir importantes et exiger des mesures correctrices.

A partir d'une certaine limite, un système de climatisation devient nécessaire pour garantir le confort des occupants. Celui-ci sera également un gros consommateur d'électricité. Cependant la mise en veille des équipements permet de diminuer fortement leur consommation, par la même occasion leur production de chaleur.

Dans le cas des écoles, il est donc essentiel de responsabiliser enseignants et élèves à l'utilisation rationnelle et énergétiques des ordinateurs.

### → Quel comportement à adopter en terme de gestion énergétique ?

Le comportement des utilisateurs conditionne énormément les consommations énergétiques. Durant les cours, les enfants ne sont pas constamment devant un ordinateur mais plutôt de temps en temps. Il convient donc de gérer correctement leur mode de fonctionnement.

Trois modes distincts sont disponibles sur les ordinateurs modernes :

- Mode actif : l'ordinateur fonctionne en mode «actif» en permanence.
- Mode « veille » : à partir du moment où cette fonction est activée, l'ordinateur se met automatiquement en mode «attente» après 30 minutes (arrêt du disque dur et de l'écran principalement).
- Mode «économie d'énergie». Si cette fonction est activée, sans action sur les équipements, on passe en mode «attente» endéans les 10-15 minutes. Les consommations en mode «actif» peuvent être réduites de 25 %.

Il convient aussi de sensibiliser les élèves à éteindre l'ordinateur lorsque celui-ci ne doit pas être utilisé ou avant de partir en cours de récréation ou en pause.

#### 1.7.4.2. Présence d'installations électriques, de téléphonie mobile et d'installation Wi-fi - quel impact sur la santé des enfants

Le travail sur ordinateur peut générer un inconfort thermique par la chaleur produite et avoir un impact sur la qualité de l'air notamment par l'utilisation de certaines substances comme des retardateurs de flamme dans les circuits électroniques.

*L'association japonaise des industries de technologie électronique et d'information (JEITA) a élaboré en 2005 des valeurs guides de COV pour les ordinateurs matérialisées par le PC GREEN LABEL qui certifie qu'un ordinateur répond à des critères environnementaux relatifs à la conception, la fabrication, le recyclage et la réutilisation du matériel - Source: S.DEOUX, Bâtir pour la santé de nos enfants*

L'utilisation de l'ordinateur mais également la large diffusion de la téléphonie mobile et des réseaux de raccordement sans fil et à haut débit WI-FI soulève des craintes à divers rayonnements électromagnétiques.

Cette question est l'objet d'un débat scientifique intense et de nombreuses recherches scientifiques sont en développement, notamment au niveau de l'OMS. Tant que les débats d'experts ne seront pas tranchés sur les conséquences d'expositions plus ou moins longues à des champs plus ou moins puissants, il convient d'appliquer le principe de précaution et d'éviter tant que possible toute source de champs électrique ou magnétique inutile, particulièrement pour les personnes sensibles dont les enfants.

### → Pollution électromagnétique - principe

La pollution électromagnétique est constituée par les champs électriques et magnétiques qui sont présents dans notre environnement mais qui ne sont pas d'origine naturelle. Les sources artificielles sont des installations électriques ou de télécommunication. On distingue deux grandes familles d'ondes électromagnétiques :

- les basses fréquences : des champs électriques et magnétiques sont présents dans l'environnement de tout appareil électrique en fonctionnement. Seuls des champs électriques sont présents autour des appareils électriques branchés mais éteints.
- les hautes fréquences : ils sont principalement liés aux télécommunications, matériels HiFi, ...

Cette pollution peut provenir tant de l'extérieur que de l'intérieur. A l'extérieur, des sources importantes sont les lignes à haute tension, les antennes GSM ou les voies de tramway, mais également les ondes radio et TV. A l'intérieur, on pointe les sources de pollution sous forme d'antennes telles que les prises électriques, les câbles de télédistribution non blindés, etc, ainsi que les technologies de communication sans fil (Wifi, GSM). La question des champs électromagnétiques concerne donc une très large gamme de technologies.

### → Mesures constructives à prendre pour limiter la pollution électromagnétique

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- Concevoir l'installation des réseaux de télécommunication et informatique en encastrant les câblages dans des cloisons massives et en prévoyant systématiquement des protections de terre adéquates ;
- Prévoir de nouvelles cloisons intérieures absorbantes pour les ondes électromagnétiques.
- Si cela est possible, limiter la longueur des câbles électriques par un positionnement adéquat des prises
- Prévoir un blindage de câbles à forts ampérage ;
- Prévoir des bio-rupteurs sur les circuits de tout local ne nécessitant pas d'appareil électrique fonctionnant en continu.

### → Mesures comportementales à prendre pour limiter la pollution électromagnétique

Face à tous les équipements électriques, l'éloignement est une réelle et efficace mesure de prévention en raison de la diminution rapide du champ magnétique. Au niveau de l'utilisation d'ordinateurs à l'école, on choisira de préférence :

- des équipements présentant un bon rendement énergétique car il génère moins de champ électromagnétique;
- des ordinateurs avec clavier séparé qui maintiennent ainsi un certain éloignement;

Remarque sur l'influence de l'ordinateur et des écrans sur l'apprentissage et la santé des enfants

Certains spécialistes du cerveau, médecins, pédiatres et psychiatres s'inquiètent aujourd'hui de l'influence des médias numériques et des écrans d'une part, sur le développement du cerveau et de la mémoire et d'autre part, sur la santé des enfants (maux de dos, troubles du sommeil, la vision problèmes, la pathologie de la main ...). Il est donc essentiel d'être prudent dans l'utilisation des médias numériques à l'école.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- des écrans plats à cristaux liquides ou à plasma qui limite l'exposition par rapport aux écrans cathodiques.

### 1.8. Améliorer la qualité de vie à l'école

La qualité de vie de l'être humain qui peut être définie suivant une série de paramètres liés à la qualité de son environnement extérieur (bâti et non bâti) et aux relations que l'être humain partage avec son environnement. Ces paramètres sont les suivants :

- la qualité de l'environnement extérieur immédiat : présence d'espaces collectifs ou de rencontre, d'espaces publics et d'espaces verts ;
- la possibilité et la facilité de se déplacer à pieds ou à vélo, de manière sécurisée ;
- la présence de services de proximité, accessibles à pieds ou à vélo ;
- l'existence d'une vie de quartier.

Ces différents paramètres vont susciter chez l'habitant d'un quartier ou chez l'utilisateur d'un immeuble de ce quartier un sentiment d'appartenance et un sentiment de sécurité nécessaire à la qualité de vie « ressentie »

#### 1.8.1. Optimiser les espaces extérieurs à l'école

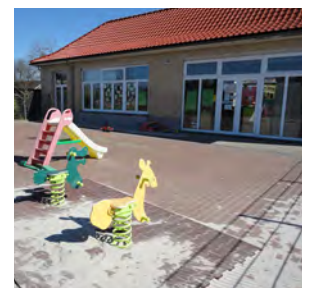
*La participation à des loisirs variés permet aux enfants d'apprendre à coopérer, à respecter les différences, à s'accommoder de contraintes et de règlements, à savourer le succès modeste et à relativiser leurs frustrations. Ils y apprennent aussi à développer leur esprit critique, leur créativité, leurs habiletés à négocier, à diriger, à contrôler et à évaluer des activités; en un mot, ils apprennent à gérer leur environnement de façon respectueuse.*

*Source: BOUCHARD Report (1991) A Quebec in Love with its Children, Report of the Working Group on Youth, Quebec, Ministry of Health and Social Services*

L'école peut être définie comme un ensemble d'espaces bâtis et non bâtis mis à la disposition du développement cognitif, sensoriel, social et affectif des enfants. Les espaces extérieurs ont autant d'importance que les espaces intérieurs car ils aident les élèves à mieux vivre ensemble. Dans ce contexte, les jeux et les activités physiques pratiqués par les jeunes, dans la cour d'école, font partie des activités éducatives de l'école.

La cour d'école est un lieu indispensable au bon fonctionnement d'une école. Le matin, c'est le premier contact que les jeunes ont avec leur milieu scolaire. Le midi, elle est utilisée comme lieu de rassemblement, d'activités de loisirs et de détente. Elle est également l'endroit vers où l'on dirige les enfants entre les heures de classe (récréation) afin qu'ils puissent se divertir et refaire le plein d'énergie. C'est enfin le lieu de rassemblement et de retrouvaille avec les parents en fin de journée.

Les espaces extérieurs d'une école sont les suivants : la ou les cours de récréation, l'espace d'accueil et d'entrée, les accès à l'école, le parking, le drive-in... et les abords de l'école.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



**Nous n'aborderons ici que l'amélioration de la cour de récréation et la végétalisation des abords de l'école.**

### 1.8.1.1. La cour de récréation

Le droit au jeu pour l'enfant est considéré comme essentiel. L'organisation des Nations Unies (ONU) mentionne dans sa déclaration des droits de l'enfant : « l'enfant doit avoir toutes les possibilités de se livrer à des jeux et à des activités récréatives qui doivent être orientées vers les fins visées par l'éducation ».

#### → L'importance du jeu à l'école

Au travers du jeu, l'enfant développe les bases d'une vie sociale

**Le jeu est d'abord une réponse au besoin de se ressourcer, de se détendre.** Les heures de cours sont synonymes d'absence de mouvements, de posture assise prolongée, de nombreuses tâches imposées au milieu d'un nombre important d'autres enfants dans un local généralement restreint. Ces contraintes « physiques » sont source de tension, d'agitation et/ou de fatigue chez les enfants – comme chez les adultes. Le temps de la récréation permet à l'enfant de répondre au besoin impérieux de se détendre physiquement, soit par le mouvement (course, glisse, escalade, saut...), soit par le repos, la détente et la recherche de calme.

Le jeu permet également à l'enfant de se détendre psychiquement en projetant ses rêves et son imagination.

**Le jeu est aussi une réponse au besoin d'explorer l'espace.** Lorsqu'il est en mouvement, l'enfant apprend à se situer physiquement dans l'espace. Par le mouvement, l'enfant découvre, vit et assimile les différentes directions et dimensions.

**Le jeu est également une réponse au besoin d'agir sur son environnement.** C'est parce que l'enfant agit sur son environnement qu'il peut se l'approprier. Il est nécessaire que l'enfant puisse compléter, prolonger les structures de jeu installées ou en inventer d'autres : une marelle, un jeu de billes ou autres jeux éphémères. Dans ce cas, le temps de la création ou de la mise en place est aussi important que le temps de jeu

Idéalement la cour de récréation doit pouvoir répondre, à travers l'aménagement de différents espaces, à ces besoins fondamentaux.

#### → Qu'est-ce qu'une cour de récréation ?

Face à la pauvreté ludique d'une grande majorité de cours de récréation, face au manque de couleur, d'absence de végétation, face à l'étroitesse de celles-ci, on peut se poser la question ; « qu'est-ce qu'une cour de récréation ? »

**Une cour de récréation est d'abord un espace sécurisé.** Cette sécurité dépend à la fois de la superficie de la cour et de la variété des aménagements. Il est essentiel que les enfants, surtout les plus petits, éprouvent un sentiment de sécurité et de bien-être lorsqu'ils se retrouvent dans la cour, c.-à-d. que l'aménagement de celle-ci leur procure l'intimité nécessaire pour s'y sentir à l'aise. La cour de récréation est **un espace qui offre différentes configurations de jeux** pour accompagner le développement moteur des enfants. Elle doit donc être vue comme un espace structuré où se mélangent zones de jeux et zones de repos et de discussion, des espaces pour des activités en groupe... La cour de récréation et ces différents espaces doivent permettre l'exploration, l'expérience, le mouvement et la mise en place de territoires.

La cour de récréation est un espace qui offre différentes configurations de jeux pour accompagner la socialisation des enfants. Elle doit être vue comme le lieu d'apprentissage du lien social et du respect des règles de civilité. Ses aménagements doivent donc permettre l'installation d'un climat gai et détendu où chaque enfant trouve sa place au milieu des autres. Les aménagements doivent permettre aux enfants d'acquérir un sentiment d'appartenance : « c'est ma cour, je m'y sens bien, seul ou avec les autres... » Ce sentiment influencera considérablement l'ambiance des récréations, l'humeur des enfants et les manifestations d'agressivité.

**La cour de récréation est la prolongation de la salle de classe.** La présence de la nature, d'un potager ou encore d'une petite station météo peuvent être des supports d'éveil pour les enfants, un champ propice aux observations et aux



Image: Catherine Massart



Image: © Ecole St Joseph - Uccle, Belgium

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



expériences à l'extérieur de la classe et ainsi permettre des apprentissages dans le domaine des sciences naturelles.

### → Améliorer l'espace de la cours de récréation

De manière générale, un projet de rénovation ou d'aménagement de cours de récréation voit le jour lorsqu'un des acteurs de l'école – souvent des parents ou des personnes ressources – ont constaté un problème ou un manque (sécurité, absence de jeux, revêtement ancien et usé, manque de surface...).

Le fait de vouloir régler ces problèmes amène souvent l'école à s'engager dans un projet plus global d'aménagement de la cour d'école. Lorsqu'on projette d'améliorer l'aménagement d'une cour d'école, on peut se poser les questions suivantes:

- la superficie de la cours est-elle suffisante par rapport au nombre d'élèves qui la fréquentent quotidiennement ? Y a-t-il une possibilité d'agrandissement ou d'extension ?
- la cours de récréation offre-t-elle un microclimat adapté aux enfants (ambiance thermique, sonore, qualité de l'air ?)
- l'aménagement actuel permet-il aux élèves d'être actifs et de se détendre sans provoquer de querelles ou d'animosités trop importantes ?
- l'aménagement est-il cohérent par rapport aux différentes activités de l'école et au projet pédagogique ?
- la végétation y est-elle présente ?
- l'équipement de la cours (jeux, bancs, tables, ...) est-il sécuritaire ?
- Les équipements sanitaires à proximité ou dans la cours sont-ils en bon état et en nombre suffisant ?

Lorsqu'un projet de réaménagement est lancé ou proposé, il convient d'apprécier la qualité de l'aménagement envisagé, notamment sa fiabilité (solidité, durée de vie du matériel, entretien...), sa complémentarité avec le matériel existant, la diversité des utilisations possibles et les tranches d'âges concernées (s'assurer que les équipements concernent l'ensemble des élèves fréquentant l'école, sur des espaces pouvant être différents selon l'âge des élèves...)

### → Optimiser la superficie et l'aménagement de la cours de récréation

La plupart des écoles existantes ont aujourd'hui des cours de récréation d'une superficie trop petite par rapport au nombre d'élèves qui les fréquentent. La cours de récréation est un lieu privilégié pour le jeu et le mouvement. La superficie de celle-ci doit donc tenir compte d'un espace minimum pour chaque enfant.

Différents organismes spécialisés dans la petite enfance préconisent des superficies minimum.

*Par exemple, le site internet [www.sitecoles.org](http://www.sitecoles.org) recommande:*

*- pour la cours de récréation des classes maternelles, une aire de jeu basée sur le nombre de classes avec un minimum de 400 m<sup>2</sup> pour la première classe et 100 m<sup>2</sup> pour chacune des classes suivantes.*

*- pour la cours de récréation des classes primaires, une aire de jeu basée sur le nombre de classes avec un minimum de 200 m<sup>2</sup> pour la première classe et 100 m<sup>2</sup> pour chacune des classes suivantes.*

*Au Luxembourg, on estime qu'un minimum de 5 m<sup>2</sup> par enfant est nécessaire. En France, chaque enfant dispose d'une superficie allant de 3.8 à 4.5m<sup>2</sup>. Un groupe d'étude et de recherche en intervention sociale, le GERIS (Université du Québec) préconise une superficie de 13.5m<sup>2</sup> pour que l'enfant puisse quotidiennement exercer sa motricité globale et réellement courir.*

Un préau ou un abri couvert doit également être aménagé dans chaque cours de récréation. Plusieurs aménagements sont possibles :

- sorte d'auvent, le long d'un des murs de l'école ;
- ouvert sur trois côtés ou adossé au bâtiment scolaire ;
- fermé sur trois côtés et ouvert par de larges portes sur le quatrième. Dans ce cas, le préau peut être totalement fermé les jours de mauvais temps, voire chauffé.

La superficie proposée par le site internet [www.sitecoles.org](http://www.sitecoles.org) est de :

- 100 à 120 m<sup>2</sup> jusqu'à 5 classes de maternelles et 150 m<sup>2</sup> jusqu'à 8 classes ;

Il est à noter que des superficies plus généreuses correspondent davantage aux besoins des enfants et donne à la cour une meilleure qualité d'usage. Ces superficies plus généreuses limitent également le nombre de jeux agressifs et les disputes en favorisant davantage les jeux basés sur la coopération.

De plus, les études statistiques démontrent que les accidents survenant dans les cours de récréation augmentent avec un nombre trop important d'enfants par rapport à la superficie de la cour.

Les superficies de cour de récréation sont en principe normalisées en fonction du pays dans lequel on se trouve mais elles ne sont cependant pas toujours atteintes en rénovation par manque de place ou par manque de ressources financières.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- 0.80 à 1 m<sup>2</sup> par élève pour les classes primaires

Chaque école veillera à diviser sa cour de récréation en différents espaces de façon à faciliter l'animation et la surveillance tout en assurant la sécurité des enfants.

Trois types d'espaces sont généralement indispensables au bon épanouissement des enfants : l'aire de jeux, l'espace pour les jeux physiques ou le sport et l'aire de repos. A ces trois espaces peuvent être complétés par un espace « jardin » ou « jardin-potager » ou encore « jardin et mare ». Chacun de ces espaces a des spécificités (superficie, revêtement, mobilier,...) qui doivent être prises en compte lors de leur aménagement.

Chaque école, en fonction de sa situation géographique veillera à penser l'aménagement de la cour en fonction du climat, des mois de gel (par exemple plus importants au Danemark et en Norvège) et en fonction des mois d'ensoleillement (par exemple plus importants en Italie).

### → Optimiser le microclimat de la cours de récréation

La cour de récréation est souvent conçue comme un espace circonscrit par un ensemble de bâtiments

En fonction de son orientation, de son ensoleillement, des revêtements de sol et de façades utilisés et de la présence de végétation, la cour de récréation aura son propre microclimat qu'il est important d'identifier aux différentes saisons et en fonction des horaires de récréation, notamment lors de la récréation du milieu de journée (après le déjeuner des enfants) et en fin de journée pour la garderie.

**La cour de récréation doit pouvoir être utilisée en toutes saisons.** Si le confort thermique des enfants est primordial à l'intérieur des bâtiments, il est également essentiel de tenir compte du confort thermique de la cour de récréation car les enfants passent au minimum deux à trois heures par jour dans cet espace, notamment à l'heure du midi, heure qui peut être problématique du mois de mai au mois d'octobre : soleil haut dans le ciel, température élevée, peu d'ombre...

En période de chaleur, la surface de la cour, si elle est recouverte d'un revêtement minéral de couleur foncée et sans ombrage ou végétation, peut présenter une température avoisinant les 40°C.

**La qualité de l'air d'une cour de récréation doit être prise en compte lors de la rénovation des écoles.**

En effet, lors des activités de jeux et activités physiques qui se déroulent dans la cour de récréation, les enfants inhalent une quantité d'air plus importante que lorsqu'ils sont en classe (activités dites « sédentaires »).

La qualité de l'air d'une cour de récréation dépend de sa situation géographique (proximité de voies de circulation intense, proximité de sites industriels, proche du centre-ville, à la campagne,...) mais également de la présence de végétation ou d'arbres qui, à certaines périodes de l'année, peut être à l'origine d'émission de pollens.

Lors de la rénovation de la cours de récréation, on veillera à

- se protéger des vents dominants;
- limiter les courants d'air;
- limiter les contrastes de lumière trop importants
- améliorer la qualité de l'air.

L'optimisation du microclimat d'une cour de récréation peut se faire notamment :

- en implantant des arbres ou des surfaces de végétations : apport d'ombrage, effet rafraîchissant en été;
- en choisissant les revêtements de sol adaptés : les revêtements minéraux de couleur foncée ne sont pas recommandés.
- en évitant la présence de revêtements ou matériaux réfléchissants (contrastes lumineux plus importants)



Image: © Ecole St Joseph - Uccle, Belgium



Image: © Ecole St Joseph - Uccle, Belgium

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Optimiser le confort acoustique dans la cours de récréation

Les cours d'écoles sont la plupart du temps considérées comme une source de nuisances sonores importantes pour le voisinage. Pendant les moments de récréation, les enfants crient et ce, pour des raisons d'ordre physiologique et psychologique. Après s'être tenus silencieux et immobiles pendant l'enseignement, il est normal que les enfants se défoulent, bougent, courent et crient... Cependant, les cris des enfants ne leur font pas que du bien et beaucoup d'entre eux sont incommodés par le bruit de leurs camarades. De plus, les cours de récréation situées dans un environnement sonore bruyant (trafic routier à proximité, centre-ville,...) incitent les élèves à crier davantage pour surmonter le bruit ambiant.

S'il est légitime de vouloir protéger les riverains d'une école contre les niveaux sonores des récréations, il est également important et nécessaire de penser aux conséquences de l'environnement sonore de la cour sur le comportement des enfants (fatigue, agitation, agressivité, augmentation des conflits,...) et la qualité des moments de détente et de relaxation (augmentation du stress).

### Protéger la cours de récréation des nuisances sonores environnantes

Dans le cas d'implantation urbaine ou à proximité d'une nuisance sonore importante, on veillera, lors du réaménagement de la cour de récréation, à limiter cette nuisance de bruit par:

- l'installation des écrans anti-bruit efficaces ;
- la plantation de la végétation ou des arbres à feuilles persistantes.

### Traiter l'acoustique de la cours de récréation

Concernant l'acoustique des cours de récréation, l'OMS préconise une valeur guide de 55 dB pour le niveau sonore ambiant des aires extérieures. Cette valeur est proposée par l'OMS en raison de la gêne qui peut survenir à partir de ce seuil mais est relativement contraignant à atteindre en zone urbaine. Le traitement acoustique d'une cour de récréation passe en premier lieu par une meilleure organisation spatio-temporelle:

- l'utilisation de la cour doit se faire de manière différenciée en fonction de l'âge des enfants
- le choix des jeux et leurs implantations de jeux « plus bruyants » se feront en fonction de l'implantation des locaux de classe de manière à ne pas en perturber l'usage.

Ensuite, chaque concepteur sera attentif à la configuration, à la géométrie et aux choix des matériaux de revêtements de manière à diminuer la réverbération du son. L'apport de végétation (arbres, arbustes, potager, zone de pelouses) peut également améliorer l'acoustique de la cour.

### → Optimiser l'éclairage dans la cours de récréation

Lorsque les journées raccourcissent, l'apport de l'éclairage artificiel s'avère nécessaire. Il permet à la fois la surveillance de la cour et la sécurité. Il a également un effet rassurant sur les enfants. L'éclairage artificiel de la cour de récréation doit également garantir le confort visuel des enfants, des professeurs et des surveillants durant les périodes d'utilisation de la cour :

#### Niveau d'éclairage suffisant

Un niveau d'éclairage suffisant pour distinguer convenablement et sans effort les obstacles éventuels, les usagers et la signalisation. Si aucune prescription légale existe, il convient de prévoir un niveau d'éclairage de

- minimum 10 lux pour les zones et voies de circulation ;
- 40 lux pour les espaces où une activité est exercée.

#### Rendu des couleurs suffisant

Le rendu des couleurs de l'éclairage extérieur doit permettre une bonne reconnaissance des couleurs et ainsi augmenter la bonne perception des usagers de la cour de récréation. On choisira de préférence des lampes d'IRC (indice rendu des couleurs) supérieur à 60 et de préférence égal à 80 (selon la norme EN 12-193, 1999).



Image : Catherine Massart



Image : Catherine Massart



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Le choix et la bonne implantation des luminaires

La puissance de la lampe, la hauteur et la répartition des luminaires dans la cour de récréation vont fortement influencer le confort visuel, réduire la consommation énergétique et les coûts d'entretien. Un choix de luminaires est présenté dans la 2ème Section du Guide «Techniques et efficacité énergétique».

L'implantation des luminaires visera à créer des espaces distincts entre chemins de circulation et espaces de jeux.

#### 1.8.1.2. Conserver et/ou ramener de la végétation dans l'école

La présence de végétation et d'arbres permet d'améliorer sensiblement le microclimat d'une cour de récréation en apportant de l'ombre à certains endroits, en améliorant la qualité de l'air par un rafraîchissant et une humidification de l'air grâce aux feuillages des arbres par sédimentation des particules et poussières contenues dans l'air ainsi qu'en limitant les surchauffes par l'implantation de zones de pelouses ou espaces verts qui s'échauffent moins rapidement que les espaces minéraux. La végétation est un élément indispensable au bien-être des enfants et des adultes, particulièrement en milieu urbain très dense et très minéral. Celle-ci assure en effet une meilleure intégration de l'école dans le quartier, rend l'école plus sympathique et accueillante et crée des échappées visuelles intéressantes depuis les locaux de classe.

L'école a également un rôle à jouer dans la possibilité d'offrir aux enfants la découverte des espèces végétales et animales. La végétation est également un support éducatif : observation du déroulement des saisons, observations des espèces animales et insectes... Mais plus encore, renforcer la présence de végétation, principalement de pleine terre, permet aussi de réintroduire la biodiversité c.à.d. un nombre important d'espèces animales et végétales, de retrouver un équilibre entre différents écosystèmes existants ainsi qu'une régulation hydraulique d'une partie de la parcelle en permettant l'infiltration des eaux de pluie.

Ramener de la végétation dans l'école peut se faire de plusieurs manières :

- planter des espaces verts dans les cours de récréation. Dans ce cas, ces espaces peuvent également être associés à la gestion des eaux pluviales (voir chapitre C) ou au recyclage des eaux usées (voir chapitre D)
- planter des zones de potagers ou des mares dans certains espaces extérieurs de l'école. Dans ce cas, ces espaces peuvent également être associés au projet pédagogique de l'école et permettre différentes activités durant les heures de cours ou durant les récréations ;
- planter de la végétation et des arbres aux abords de l'école : dans les zones de parking, dans la zone d'entrée...
- planter des toitures vertes lorsque les toitures le permettent

Un espace planté constitue une valeur ajoutée pour la qualité de vie des occupants d'un bâtiment, tant au niveau du bien-être général qu'au niveau du confort. Cependant, l'entretien de tels espaces peut s'avérer à la fois extrêmement coûteux, gaspilleur d'eau et gros producteur de déchets. Ces espaces peuvent également influencer la qualité de l'air et la santé des occupants (émissions de pollens)



Espace vert autour de l'école - Image : Sylvie Rouche

Le concepteur veillera donc à choisir les essences végétales en fonction des critères suivants :

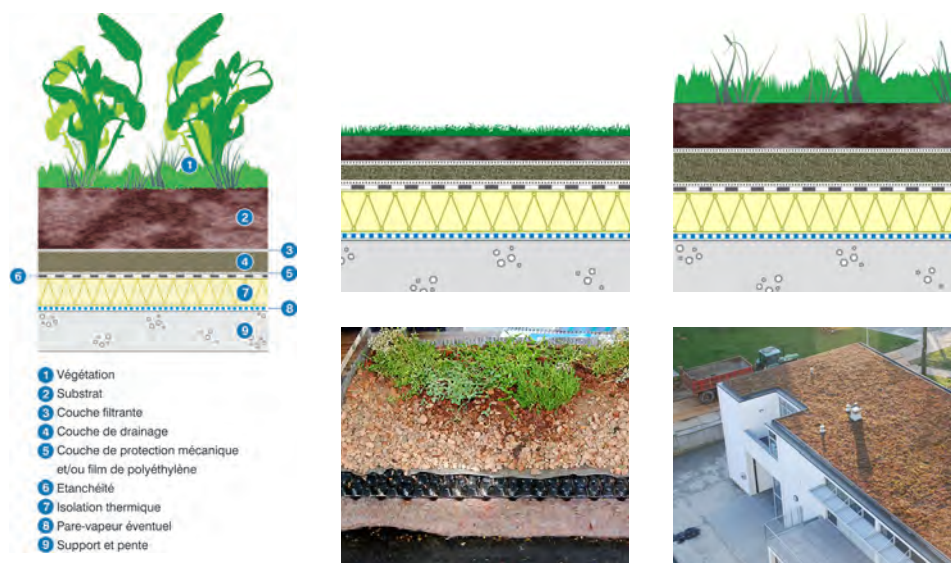
- essences locales et aptes à se développer dans le climat local;
- essences dont les pollens ne provoquent pas d'allergies ou de problèmes respiratoires ;
- essences dont les besoins en eau sont faibles;
- essences demandant un entretien limité.

#### → La toiture verte ou végétalisée

En zone de forte densité ou lorsqu'on manque de place, un moyen efficace de réintroduire la végétation et la biodiversité est de travailler avec une toiture verte. Une toiture verte est une toiture, plate ou en légère pente, recouverte de végétation

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



et des couches nécessaires au bon développement de celle-ci. Il existe trois sortes de toitures vertes, selon le type de végétation qu'elle supporte:

- toiture verte extensive: peu de diversité de plantes, nécessite très peu ou pas d'entretien
- toiture verte semi-extensive (ou semi-intensive) : grande diversité de plantes, nécessite peu d'entretien
- toiture verte intensive: grande diversité de plantes, nécessite le même type d'entretien qu'un jardin traditionnel

La toiture verte présente de nombreux avantages :

### Prolongation de la durée de vie de la toiture

La toiture verte prolonge la durée de vie de l'étanchéité grâce aux différentes couches dont elle est composée et à son rôle de régulateur thermique :

- l'étanchéité est protégée contre les agressions des rayons ultraviolets du soleil ainsi que des intempéries ;
- l'étanchéité subit de manière moins importante les fluctuations de température, sources de vieillissement ;
- l'étanchéité est protégée en permanence contre le piétinement et les chocs accidentels.

### Renforcement de la biodiversité

La toiture verte, surtout dans les zones à fort densité comme les centres villes, est un moyen efficace pour réintroduire une certaine biodiversité en fournissant aux espèces animales des points de passages et de vie (nidification ou autre) et aux espèces végétales des lieux de croissance et de prolifération.

### Gestion des eaux de pluie

La toiture verte joue un rôle prépondérant au niveau de la gestion des eaux de pluie, surtout en milieu urbain – de plus en plus imperméabilisé – puisqu'elle agit comme un bassin tampon entre les intempéries et le système d'évacuation.

### Amélioration de la qualité de l'air

La toiture verte permet d'améliorer sensiblement la qualité de l'air, notamment dans les zones à forte densité, en filtrant une partie de particules présentes dans l'air, en absorbant certains métaux lourds (pollution atmosphérique) comme le cadmium, le cuivre et le plomb et le zinc et en oxygénant l'air grâce processus de la photosynthèse. De plus, grâce aux phénomènes d'ombrage et d'évapotranspiration, la toiture verte améliore la qualité hygrothermique et le microclimat environnant.

Critères de choix	végétation extensive	végétation semi-intensive	végétation intensive
En rénovation	OUI	à étudier	difficile
Epaisseur	< 0.1m	0.1m - 0.25 m	> 0.25 selon le type de plantes
Plantes	Mousses, sédums, herbes	Végétation extensive et intensive de petite taille	toutes les plantes d'un jardin traditionnel
Support	Toit plat ou incliné (2% à 70%)	Toit plat ou incliné (2% à 57%)	Toit plat ou incliné (2% à 10%)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Critères de choix	végétation extensive	végétation semi-intensive	végétation intensive
Structure portante	normal	à évaluer	à renforcer
Surcharge	30 – 100 kg/m <sup>2</sup>	100 – 400 kg/m <sup>2</sup>	> 400 kg/m <sup>2</sup>
Accessibilité	<b>NON</b> (juste pour l'entretien)	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>
Surcoût (renforcement de la structure inclus)	16% – 32% selon la surface	40%	40%
Impact sur le cycle de l'eau	appréciable	important	important
Impact sur la qualité de l'air	appréciable	important	important
Isolation acoustique	moyen	moyen	augmenté
Isolation thermique	faible	non négligeable	appréciable
Mise en oeuvre	facile	plus complexe	plus complexe
Entretien	peu ou pas	régulier	important

Source: Trachte Sophie, *Advanced and Sustainable Housing Renovation – A Guide for designers and planners*, AIE37, 2010

### 1.8.2. Favoriser la mobilité douce des enseignants et des élèves

Aujourd'hui, en rénovation comme en construction neuve, on ne peut se limiter à augmenter la performance énergétique des bâtiments, qu'ils soient résidentiels ou non résidentiels, sans prendre en compte l'optimisation des réseaux de transports urbains et « à mobilité douce » qui les relient. En effet, le trafic automobile est une des principales sources de nuisances et de pollution en ville : il est non seulement responsable de bruits, d'encombrements important mais aussi d'importantes émissions toxiques (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, particules fines,...).

Mais plus encore, la circulation automobile a joué le rôle principal dans la détérioration des espaces publics, dans le déclin des interactions sociales et dans la disparition du sentiment d'appartenir à une communauté locale, celle de sa rue, de son îlot, de son quartier...

*Pour exemple, à Bruxelles, plus de 35% des déplacements vers l'école se font en voiture (INS, 1998-99). La durée moyenne d'un déplacement entre l'école et la maison est d'environ 17 minutes<sup>1</sup>. Or, les distances entre le domicile et l'école sont souvent courtes et les premiers kilomètres sont les plus polluants. De plus, l'usage de la voiture est à l'origine de problèmes de congestion aux abords de l'école, de conflit d'usage, d'incivilité et d'insécurité.*

*L'apprentissage d'une autre mobilité est un élément important à la fois dans le développement des villes et des quartiers mais également dans le développement physique de l'enfant dans son apprentissage de l'autonomie.*

*Le parcours vers l'école donne lieu pour chaque enfant à une expérience spatiale singulière dont la valeur éducative est double : d'une part il contribue à l'appropriation individuelle d'une métrique du territoire ; d'autre part, c'est une forme d'apprentissage de la sociabilité dans l'espace public<sup>2</sup>.*

Il est évident qu'à l'échelle d'un projet de rénovation durable, les concepteurs n'ont aucune réelle influence sur la gestion de la mobilité des usagers ou sur l'efficacité des transports publics. Cependant, grâce à un aménagement adapté des zones extérieures autour de l'école et la mise en place d'abris à vélo, ils peuvent influencer ou motiver le choix des utilisateurs et des acteurs de l'école à se déplacer autrement.

En outre, l'architecture de l'environnement bâti et non bâti est susceptible de stimuler, faciliter et rendre plus sûrs les déplacements piétons et cyclables, ce qui joue un rôle en termes de la vitalité urbaine, de commerce local et de sécurité.

#### 1.8.2.1. Réduire l'utilisation de la voiture, choix pédagogique de l'école

##### → Rôle des parents et des enseignants

Les parents comme les parents ont un rôle important à jouer dans l'apprentissage de la mobilité des enfants. En effet, même si l'école est à proximité de réseau de transport en commun ou facilement accessible à pied ou à vélo, ce n'est pas une condition suffisante pour qu'on choisisse ces modes de transport. Il faut d'abord que les enfants acquièrent les compétences nécessaires pour prendre le bus, le tram, le métro, qu'il se repère dans la ville et dans les différents réseaux et surtout qu'il ait envie de le faire. Cette notion d'envie suggère deux choses :

- un effort de sensibilisation, à mener par les parents et les enseignements

1 Source : « Les Chemins de l'école » d'Amélia Ribeiro de Souza, UCL, Presses universitaires de Louvain

2 Source : « Les Chemins de l'école » d'Amélia Ribeiro de Souza, UCL, Presses universitaires de Louvain

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- une offre de qualité tant dans les espaces publics et urbains que dans les transports en communs

Les parents et les enseignants peuvent être un exemple encourageant les enfants à se déplacer à pied, à vélo ou en transport en commun :

- en se déplaçant soi-même à pied et à vélo quand les distances à parcourir le permettent ;
- en utilisant ces modes alternatifs lors de déplacements et visites scolaires. En début d'année, chaque professeur peut proposer aux enfants et aux parents de souscrire à un abonnement aux transports en commun, souvent gratuit pour les enfants de moins de 12 ans ;
- en proposant régulièrement aux enfants d'aller et revenir de l'école, à pied ou en vélo ;
- en proposant aux enfants âgés de plus de 10 ans de parcourir seul certains déplacements. A partir de 9-12 ans, l'enfant commence à manifester son envie de se déplacer seul, notamment pour aller à l'école ;
- en proposant régulièrement aux enfants de se déplacer à pied ou à vélo pour les autres activités hebdomadaires : courses, visite chez le médecin, activité sportive ou culturelle...
- en répondant par l'affirmative à la demande de l'enfant d'aller à l'école à vélo<sup>3</sup>

### → Sensibilisation à ce type de mobilité

L'école peut, avec l'aide et le soutien des parents, devenir un lieu de sensibilisation à ce type de mobilité en proposant différentes actions:

- durant les cours de psychomotricité et de gymnastique ou durant des heures de parascolaires, développer l'apprentissage de la maîtrise du vélo dès la maternelle grâce à des parcours ludiques et de maniabilité ;
- durant l'année scolaire organiser une ou deux journées de sensibilisation au rôle du vélo comme déplacement durable et sain en proposant une journée de rallye « vélo » accessible à toutes les familles ;
- durant l'année scolaire, organiser une ou plusieurs journées de sensibilisation à la sécurité routière en proposant soit un parcours avec des panneaux de signalisation et des « défis » de circulation piétonne ou cycliste, soit un parcours sur routes et chemins. Dans ce cas, l'utilisation de caméras ou d'images permet avant ou après de mieux identifier les zones «à risques» et les aménagements routiers utiles aux cyclistes.

### 1.8.2.2. Moyens à mettre en œuvre

#### → Mise en place d'un « pédibus »

Le pédibus est un ramassage scolaire pédestre dont les objectifs sont les suivants : limiter le recours à la voiture, favoriser l'entretien de la santé des élèves et leur prodiguer une activité physique, sensibiliser les enfants sur l'effet positif de ce type de transport et leur apprendre l'autonomie et la connaissance de la ville ou d'un territoire urbain. Ce pédibus consiste en un ramassage des enfants sur le trajet domicile-école. Encadrés par des parents bénévoles, portant des chasubles de sécurité à bandes réfléchissantes, les groupes d'enfants se forment en des lieux et à horaires fixés.

Afin d'optimiser ce type de déplacements, il peut être intéressant de créer plusieurs arrêts sur le parcours, qui permettent de regrouper les enfants et d'en accueillir d'autres.



En France et en Suisse, de nombreux guides méthodologiques ont été conçus pour la mise en place de ce type de transport scolaire (Ademe, pedibus Genève...)

<sup>3</sup> 60 à 70% des élèves du primaire souhaiteraient se rendre à l'école à vélo, mais leurs parents considèrent souvent que le chemin vers l'école est trop dangereux. Conséquence : un usage croissant de la voiture, aux abords des écoles, qui renforce l'insécurité.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### → Mise en place d'un « vélobus »

Le vélobus est similaire au pédibus si ce n'est que les enfants se rendent à l'école à vélo en groupe encadré par des adultes formés à cet effet. Un parcours, un horaire précis et des points d'arrêt sont définis, que chacun doit respecter. Les enfants comme les accompagnateurs portent obligatoirement un casque et une chasuble de sécurité à bandes réfléchissantes et chacun doit connaître l'itinéraire à suivre. Tous les enfants sont susceptibles de participer à un vélobus dès la 4e année primaire mais il est intéressant lors de la planification de ce type de transport scolaire de prévoir une formation rapide des enfants dont les objectifs sont :

- l'autonomie : améliorer l'autonomie dans les déplacements vers l'école, les espaces de loisirs, ... ;
- la responsabilisation : entraîner un comportement citoyen, de sécurité et développer le sens des responsabilités ;
- la santé : améliorer l'état général de santé physique et développer des aptitudes de gestion de l'effort ;
- l'épanouissement personnel : renforcer une image positive et goûter au dépassement de soi ;
- l'environnement et cadre de vie : développer la réflexion et l'action sur son milieu de vie.

La mise en place et la réussite de ce type de déplacement demande la motivation de tous les acteurs de l'école. Ce projet doit être murement réfléchi, préparé et géré durant l'année scolaire. Il est également souhaitable d'impliquer la police et la commune.

### → Aménagement de garages à vélos dans l'école et aux abords

Si l'on souhaite encourager les déplacements en vélo, il est primordial d'aménager dans la cours de récréation ou dans les espaces de circulations extérieurs de l'école des parkings à vélo.

#### Implantation

Afin de ne pas décourager les cyclistes ayant déjà fait un effort et de limiter les vols éventuels, les parkings à vélos se situeront à proximité des entrées des locaux scolaires, dans un espace à fort contrôle social. Les zones sombres et recoins seront exclus.

Leur accès sera sécurisé et sans obstacles (marches, bordures, pente trop forte).

Si le parking à vélo se situe à proximité d'un parking automobile, il est nécessaire de prévoir une séparation physique et/ou un marquage au sol pour séparer les deux flux

#### Nombre d'emplacement à prévoir

Le nombre de cyclistes est plus important en été et au printemps qu'en hiver. On calculera le nombre d'emplacement en fonction d'une rapide enquête au sein des élèves et parents et en fonction de la période la plus dense en tenant compte de quelques emplacements pour des cyclistes occasionnels (parents ou visiteurs)

#### Aménagement

De manière générale, les parkings à vélos doivent être conviviaux, éclairés, abrités et sécurisés. Les vélos doivent idéalement être protégés contre le vent et les intempéries. Afin d'éviter les vols, les râteliers doivent permettre la fixation de la roue avant et le cadre des vélos

On veillera à ce qu'il y ait suffisamment d'espace entre les râteliers et autour de ceux-ci afin de pouvoir manœuvrer facilement le vélo. Le râtelier idéal est celui dans lequel le vélo peut être facilement glissé sans devoir le soulever. Le râtelier doit être solide et durable, et fixé dans le sol.



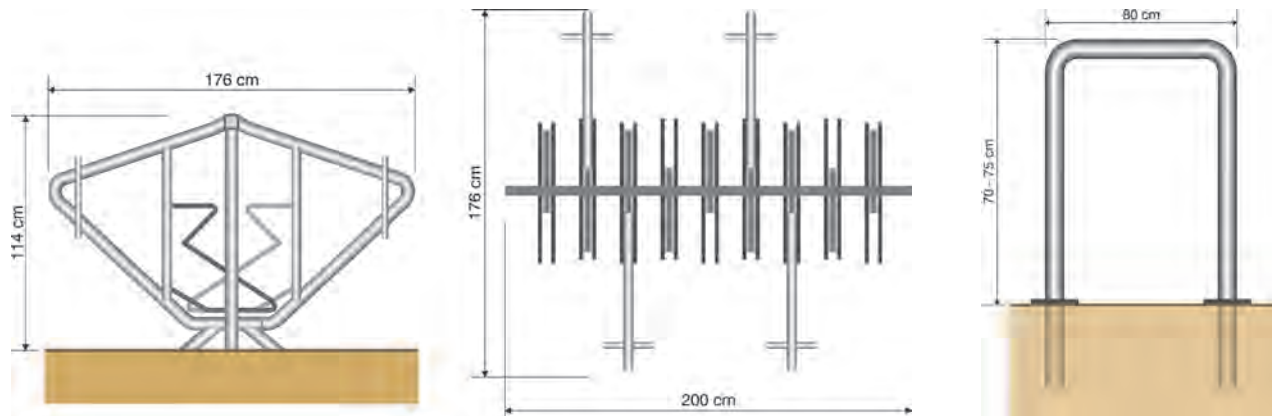
Image : Catherine Massart



Image : Catherine Massart

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### Coût

Dispositif	Coût (HTVA) installation comprise par vélo
U renversé (arceau)	50 - 55 euros
Ratelier (rack à vélo)	30 - 40 euros
Element de suspension	40 - 50 euros
Consigne à vélo (box)	300 - 900 euros
Abri à vélos	130 - 220 euros
Local en dur	1300 - 1600 euros

Source: Guide Pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, recommandation pratique TER03, IBGEBIM, Bruxelles

### → Zone et accès à proximité de l'école sécurisés

Les aménagements sécurisants aux abords des écoles ont leur rôle à jouer dans la problématique des déplacements scolaires. Ils doivent accompagner au mieux les efforts déjà entrepris par l'école et stimuler les actions des différents acteurs scolaires. L'aménagement des abords d'une école répond à plusieurs objectifs dont le premier est la sécurité des enfants.

D'autres objectifs essentiels peuvent être inhérents aux aménagements aux abords des écoles: le partage plus juste de l'espace public peut amener à plus de sécurité pour les piétons ou pour les cyclistes, assurer la convivialité des abords des écoles situées encore majoritairement au cœur des villes et villages et profitant donc pleinement à tous les citoyens

Suivant ces objectifs, il est important de

- améliorer la visibilité de l'école dans le quartier par une signalisation (par panneau et au sol) et un éclairage adéquat.



Image : Sylvie Rouche



Image : Sylvie Rouche

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



- limiter la vitesse des automobilistes à proximité de l'école par la création de zones à vitesse réduite (zone 30km/h)
- gérer et organiser le stationnement dans un rayon de 500 mètres autour de l'école
- aménager les trottoirs et les espaces publics autour de l'école, dans un rayon de 500m (éclairage, barrières de sécurité, marquage au sol...)

Ceci ne peut se faire qu'à travers une étroite collaboration avec les autorités communales ou régionales l'école n'étant pas propriétaire de l'espace public.

### → Aménagement d'un drive-in ou zone de « dépose-minute »

Des zones de dépose-minute pourraient voir le jour devant certains établissements scolaires de l'entité. L'intérêt de ce type de zone est de sécuriser les abords des écoles aux heures de pointe pour éviter les embouteillages, le stationnement en double file, sur les trottoirs, sur les passages pour piétons, etc. Ces zones doivent être considérées comme des zones d'arrêt de très courte durée, permettant à l'enfant de sortir du véhicule et de rejoindre de manière sécurisée l'intérieur de l'établissement scolaire. Une sensibilisation des parents est primordiale pour optimiser ce type d'aménagement et son utilisation.

### 1.8.3. Favoriser les échanges et les interactions entre l'école et son environnement immédiat

Le rapport de l'école à son environnement a évolué au fil des visions politiques de l'éducation et des phénomènes marquants de société.

Si au départ, les écoles étaient construites sur une conception de bâtiments scolaires tournés sur eux-mêmes, étanches aux perturbations de leur environnement et propices au transfert du savoir du maître aux élèves, quelle que soit leur condition ; l'école est aujourd'hui considérée comme un élément structurant d'un quartier ou d'une ville. Elle bénéficie d'une aire d'influence autour de sa zone d'implantation, de part notamment les déplacements qu'elle engendre et les différentes activités qu'elle propose en plus de l'enseignement.

L'école fédère aussi en ses lieux un grand nombre de citoyens, adultes et enfants, jeunes et moins jeunes, parfois issus de classes sociales différentes.

En termes de rénovation durable, il est donc essentiel de réfléchir à la manière dont l'école peut interagir avec son environnement immédiat, qu'il soit bâti ou social.

Les propositions faites ci-après doivent être réfléchies en concertation avec différents acteurs : commune, habitants, commerçants, enseignants et direction d'école... et en fonction des possibilités fonctionnelles, tant du quartier que de l'école :

- école de devoirs pour l'ensemble des enfants du quartier
- espaces partagés : salle de sport, salle commune, espaces de jeux extérieurs, terrains de sports extérieurs
- ouverture de l'école lors d'évènements particuliers dans le quartier
- activités partagées dans le quartier : brocante, séance cinéma, spectacles...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.9. Le confort et la qualité de vie - Méthode d'évaluation BREEAM

Pour évaluer le confort et la qualité de vie, la méthode BREEAM propose 6 critères repris dans la section environnementale «HEALTH and WELLBEING» :

- HEA 01: Confort visuel
- HEA 02: Qualité de l'air intérieur
- HEA 03: Confort thermique
- HEA 04: Qualité d e l'eau
- HEA 05: Performance acoustique
- HEA 06: Sûreté et sécurité

Cette section «HEALTH and WELLBEING» permet d'obtenir un maximum de 15% dans l'évaluation.

Mais le chapitre «Confort et qualité de vie » reprend également des critères que l'on retrouve dans les sections BREEAM: «MANAGEMENT», «ENERGY», «TRANSPORT» and «LAND USE AND ECOLOGY» qui permettent d'obtenir un maximum de 12%, 19%, 8% et 10% dans l'évaluation. C'est pourquoi un aperçu de ces critères sera également présenté ci-dessous.

**Pour plus d'information :** <http://www.breeam.org/page.jsp?id=381>

#### 1.8.1. HEA 01 - Confort visuel

Cette question vise à assurer le confort visuel. L'éclairage naturel, l'éclairage artificiel et le contrôle par les occupants sont considérés au stade de la conception afin d'assurer les meilleures pratiques en termes de performance et de confort pour les occupants du bâtiment. Cette thématique passe obligatoirement par un pre-requis pour atteindre un niveau minimum et divisée en cinq parties:

Critères	Nbre de crédits	Explication
Pre-requis	/	All fluorescent and compact fluorescent lamps are fitted with high frequency ballasts.
Eclairage naturel	1 - 2 crédits	<p><b>Daylight factor</b> required: 2%</p> <p>Area to comply : 80%</p> <p>Other requirements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A <b>uniformity ratio</b> of at least 0.4 or a minimum point daylight factor of at least 0.8% (spaces with glazed roofs, such as atria, must achieve a uniformity ratio of at least 0.7 or a minimum point daylight factor of at least 1.4%). Due to particular lighting issues in teaching spaces the uniformity ratio can be reduced to 0.3</li> <li>- A <b>view of sky</b> from desk height (0.7m) is achieved</li> <li>- The <b>room depth</b> criterion <math>d/w + d/HW &lt; 2/(1-RB)</math> is satisfied. Where: <ul style="list-style-type: none"> <li>d = room depth,</li> <li>w = room width,</li> <li>HW = window head height from floor level,</li> <li>RB = average reflectance of surfaces in the rear half of the room,</li> </ul> </li> </ul>
Contrôle de l'éblouissement et vue vers l'extérieur	1 crédit	<p><b>Glare control:</b> the potential for disabling glare has been designed out of all relevant building areas either through building layout and/or building design.</p> <p>The glare control strategy should be developed in tandem with the lighting strategy to ensure that glare is minimised whilst avoiding potential conflict with the lighting control systems, therefore avoiding higher than expected energy consumption</p> <p><b>View out:</b> all positions within relevant building areas are within 7m of a wall which has a window or permanent opening that provides an adequate view out. The window/opening must be <math>\geq 20\%</math> of the surrounding wall area</p>
Eclairage intérieur et extérieur	1 crédit	<p><b>Internal lighting:</b></p> <p>Illuminance (lux) levels in all internal relevant building areas of the building in accordance with European Standard.</p> <p><b>Zoning and occupants control</b></p> <p>Manual lighting controls should be easily accessible for the teacher whilst teaching and on entering/leaving the teaching space.</p> <p><b>External lighting</b></p> <p>Illuminance levels for lighting in all external areas</p>



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.8.2. HEA 02 - Qualité de l'air intérieur

Cette question vise à reconnaître et à encourager un environnement intérieur sain dans la description et l'installation appropriées des systèmes de ventilation, des équipements et des finitions. Cette question ne nécessite pas de pré-requis et est divisée en trois parties:

Critères	Crédits	Explication
Minimiser les sources de pollution	3 crédits	<p>Different requirement levels are proposed to achieve 1, 2 or 3 credits.</p> <p><b>The minimum requirements</b> (for 1 credit) are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- production of an indoor air quality plan</li> <li>- for air-conditioned and mixed-mode buildings: the building's air intakes and exhausts are over 10m apart to minimise recirculation and intakes are over 20m from sources of external pollution;</li> <li>- for naturally-ventilated buildings: openable windows/ventilators are over 10m from sources of external pollution;</li> <li>- the building has been designed to provide fresh air and minimise internal pollutants (and ingress of external polluted air into the building) in accordance with the criteria of the relevant standard for ventilation;</li> <li>- areas of the building subject to large and unpredictable or variable occupancy patterns have CO<sub>2</sub> or air quality sensors</li> </ul>
Potential de ventilation naturelle	1 crédit	<p>Occupied spaces of the building are designed to be capable of providing fresh air entirely via a natural ventilation strategy.</p> <p>The natural ventilation strategy is capable of providing at least two levels of user-control on the supply of fresh air to the occupied space, as follows;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Higher level: higher rates of ventilation achievable to remove short-term odours and/or prevent summertime overheating</li> <li>b. Lower level: adequate levels of draught-free fresh air to meet the need for good indoor air quality throughout the year, sufficient for the occupancy load and the internal pollution loads of the space.</li> </ol> <p>Any opening mechanisms must be easily accessible and provide adequate user-control over air flow rates to avoid draughts.</p>
Hotte de laboratoire et zones de confinement	2 crédits	<p>Where fume cupboards are specified, they are manufactured and installed in accordance with the following;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. General purpose fume cupboards: EN 14175-2:200326</li> <li>b. Recirculatory filtration fume cupboards</li> <li>c. Microbiological safety cabinets: EN 12469:200028</li> </ol> <p>Where ducted fume cupboards are specified, the discharged velocity from the extract fan stack from a ducted fume cupboard must be <math>\geq 10\text{m/s}</math> as recommended by BS EN 14175-230.</p>

### 1.8.2. HEA 03 - Confort thermique

Cette question vise à assurer que les niveaux de confort thermique appropriés sont atteints grâce à une conception adaptée et que des systèmes de contrôle/gestion sont choisis pour maintenir un environnement thermique confortable pour les occupants dans le bâtiment. Cette question ne nécessite pas de pré-requis.

Critères	Crédits	Explication
Confort thermique	2 crédits	<p>Different requirement levels are proposed to achieve 1 or 2 credits.</p> <p><b>The minimum requirements</b> (for 1 credit) are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- thermal modelling has been carried out using software</li> <li>- the modelling demonstrates that the building design and services strategy can deliver thermal comfort levels in occupied spaces</li> <li>- the software used to carry out the simulation at the detailed design stage provides full dynamic thermal analysis.</li> <li>- the TOR metric (%) is reported, via the BREEAM scoring and reporting tool, based on the modelling above and includes maximum and minimum temperatures for both summer and winter settings.</li> </ul>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.8.4. HEA 04 - Qualité de l'eau

Cette question a pour but de minimiser le risque de contamination de l'eau dans les équipements et d'assurer la fourniture d'eau propre et fraîche pour les utilisateurs du bâtiment. Cette question est obligatoire pour atteindre un niveau minimum:

Critères	Crédits	Explication
Qualité de l'eau	1 credit	<p><b>Building services water systems: minimising risk of contamination</b> All water systems in the building are designed to avoid the risk of legionella bacteria in water systems. Where humidification is required, a failsafe humidification system is provided.</p> <p><b>Building occupants: Provision of fresh drinking water</b> A wholesome supply of accessible, clean and fresh drinking water is supplied., <i>For schools:</i> <i>Chilled, mains-fed point-of-use water coolers accessible to pupils/students/users/staff throughout the day.</i> <i>Provision in safe and convenient locations e.g. dining/assembly halls, classrooms/common rooms, wide corridors, indoor social areas, changing rooms/gym-nasia, concourse.</i> <i>One compliant point-of-use water cooler is provided for every 200 building users, subject to a minimum of one water cooler being provided for any building with less than 200 building users.</i> <i>All coolers must be attached to both the wall and the floor to prevent vandalism, and contain security covers to protect all water and electrical connections.</i></p>

Cette question est à mettre en relation avec la troisième partie « Réduire la consommation des ressources»

### 1.8.5. HEA 05 - Performance acoustique

Cette question vise à assurer une performance acoustique des bâtiments, y compris l'isolation acoustique, qui répond aux normes selon la fonction du bâtiment. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum et est divisé en deux parties:

Critères	Crédits	Explication
Pré-requis	/	<p>A qualified acoustician is appointed by the client at the appropriate stage of the project to provide early advice on influencing outline design solutions to :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>External sources of noise impacting the chosen site</li> <li>Site layout and zoning of the building for good acoustics</li> <li>Acoustic requirements for users with special hearing and communication needs,</li> <li>Acoustic treatment of different zones and facades.</li> </ol>
Normes de performance acoustique - pour les écoles	3 crédits	<p>The building meets the acoustic performance standards and testing requirements</p> <p><b>Achieve the performance standards required (1 credit)</b> A programme of pre-completion acoustic testing is carried out by a compliant test body to ensure that the relevant spaces (as built) achieve the required performance standards. Where testing identifies that spaces do not meet the standards, remedial works are carried out prior to handover and occupation.</p> <p><b>Rain noise insulation (1 credit)</b> Rain noise - For roofs with a mass per unit area less than 150kg/m2(light-weight roofs) or any roofs with glazing/rooflights, calculations or laboratory data are required for teaching/learning spaces to demonstrate that the reverberant sound pressure level in these rooms are not more than 20dB above the indoor ambient noise level, in case of heavy rain.</p> <p><b>All music accommodation or multi-purpose halls in primary schools with no music accommodation (1 credit)</b> Where noise levels are expected to exceed 95dBA (e.g. in the case of amplified music and/or percussion) the design team must demonstrate that the need for higher sound insulation has been designed out through careful space planning.</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.8.6. HEA 06 - Sûreté et sécurité

Cette question vise à reconnaître et à encourager des mesures de conception efficaces qui minimisent en termes de sûreté et de sécurité tant dans les accès au bâtiment que dans son utilisation. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum.

Critères	Crédits	Explication
Sûreté et sécurité	2 crédits	<p><b>Safe access (1 credit)</b></p> <p>Where external site areas form part of the assessed development the following apply:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dedicated cycle lanes are provided and have been designed and constructed</li> <li>- The cycle lanes provide direct access from the site entrance(s) to any cycle storage facilities provided, without the need to deviate from the cycle path and, if relevant, connects to offsite cycle paths where these run adjacent to the development's site boundary.</li> <li>- Footpaths on site provide direct access from the site entrance(s) to the building entrance(s) and connect to public footpaths off site (where existing), providing access to local transport nodes and other offsite amenities (where existing).</li> <li>- Where provided, drop-off areas are designed off/adjoining to the access road and provide direct access to pedestrian footpaths, therefore avoiding the need for the pedestrian to cross vehicle access routes.</li> <li>- Where a dedicated pedestrian crossing of a vehicle access route is provided, the road is raised to the pavement level (i.e. the pavement is not lowered to road level), unless pavement is at road level (this may be the case in some car parks).</li> <li>- For large developments with a high number of public users/visitors, pedestrian pathways must be signposted to other local amenities off site, including public transport nodes (where existing).</li> <li>- The lighting for access roads, pedestrian areas, footpaths and cycle lanes is compliant with the external lighting criteria defined in HEA1.</li> </ul> <p><b>Security of site and building (1 credit)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The project team have accounted for security considerations in the building design and site layout through consultation with a suitably qualified security consultant.</li> <li>- Consultation with the suitably qualified security consultant occurred during or prior to the concept design stage or equivalent.</li> <li>- The final design embodies the recommendations/solutions of the suitably qualified security consultant and is built to conform.</li> </ul>

### 1.8.7. MAN 04 - Participation des acteurs/occupants

Cette question vise à concevoir, planifier et présenter des bâtiments accessibles et fonctionnels, en consultation avec les utilisateurs actuels et/ou futurs des bâtiments et d'autres intervenants. Cette question est obligatoire (seulement le critère « Informations à l'utilisateur du bâtiment») pour atteindre un niveau minimum et est divisée en quatre parties:

Critères	Crédits	Explication
Consultation	1 crédit	<p>During the preparation of the brief, all relevant parties and relevant bodies are identified and consulted with by the design team.</p> <p>A consultation plan has been prepared and includes a timescale and methods of consultation for all relevant bodies and how the relevant parties will be kept informed about progress on the project.</p> <p>The minimum consultation content has been covered</p> <p>During the design stage, consultation feedback has been given to and received by all relevant parties regarding suggestions made, including how the results of the consultation process have influenced, or resulted in modifications to, the proposed design and building operation/use.</p> <p>The project team ensures that through consultation and the resulting measures taken any areas or features of historic/heritage value are protected.</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Conception inclusive et accessible	1 crédit	
Informations à l'utilisateur	1 crédit	<p>Building User Guides are provided and are appropriate to all users of the building (general users including staff as well as the non technical facilities management team/building manager).</p> <p>The Guides cover all functions and uses of the building, ensuring building users are able to use the building effectively. Where relevant, the documents must describe the facilities to be shared and how access to them will be arranged for potential users.</p> <p>Building and site related information is made readily available to all future building users, enabling them to access and use the building, site and local transport infrastructure/amenities effectively.</p>
Évaluation après occupation (POE) et la diffusion de l'information	1 crédit	

### 1.8.8. ENE 01 - Réduction des émissions

Cette question vise à reconnaître et à encourager les bâtiments conçus pour minimiser les besoins en énergie opérationnelle et les émissions de CO<sub>2</sub>. Cette question est obligatoire pour atteindre un niveau minimum et fournit un maximum de 15 crédits.

Critères	Crédits	Explication
Reduction des émissions	1 à 15 crédits	<p>To obtain credits, an Energy Performance Ratio (EPR) must be calculated. The calculation takes account of the following parameters;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- the building's operational energy demand,</li> <li>- the building's primary energy consumption</li> <li>- the total resulting CO2 emissions.</li> </ul> <p>The calculation is determined using the following performance data from energy modelling of the building's specified/designed regulated fixed building services and fabric, as undertaken by an accredited energy assessor using approved building energy calculation software.</p> <p>The credits are obtained according to the energy performance:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>1 credit</b> : EPR of 0.06</li> <li>- <b>5 credits</b>: EPR of 0.30</li> <li>- <b>6 credits</b>: EPR of 0.36 and 25% reduction in CO2 emissions arising from regulated building energy consumption.</li> <li>- <b>10 credits</b> : EPR of 0.60 and 40% reduction in CO2 emissions arising from regulated building energy consumption.</li> <li>- <b>15 credits</b> : EPR of 0.90 and 100% reduction in CO2 emissions arising from regulated building energy consumption.</li> </ul>

### 1.8.9. TRA 01 - Accessibilité et proximité des transports publics

Cette question vise à reconnaître et encourager le développement à proximité du projet de rénovation de réseaux de transports publics, contribuant ainsi à réduire la pollution liée aux transports et limiter la congestion routière. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum et est divisé en deux parties:

Critères	Crédits	Explication
Indice d'accessibilité	1 à 3 crédits	<p>The public transport Accessibility Index (AI) for the assessed building is calculated and BREEAM credits awarded in accordance with building types.</p> <p>The Accessibility Index is determined by entering the following information in to the BREEAM Tra 01 calculator:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- the distance (m) from the main building entrance to each compliant public transport node</li> <li>- the public transport type(s) serving the compliant node e.g. bus or rail</li> <li>- the average number of services stopping per hour at each compliant node during the standard operating hours of the building for a typical day</li> </ul>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



Service spécifique de bus	1 crédit	For buildings with a fixed shift pattern i.e. where building users will predominantly arrive/depart at set times, one credit can be awarded where the building occupier will provide a dedicated bus service to and from the building at the beginning and end of each shift/day. The bus must provide transfer to the local population centre, public transport interchange or be a door-to-door service.
---------------------------	----------	--

### 1.8.10. TRA 03 - Equipement /installation pour cyclistes

Cette question vise à encourager les utilisateurs des bâtiments à se déplacer à vélo en assurant la fourniture d'équipements et d'installations adéquates. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum.

Critères	Crédits	Explication
Equipement pour cyclistes	1 à 2 crédits	<p>Credits are obtained depending on the type of building, on number of classes (for schools) and the cycle facility requirements:</p> <p><i>E.G.</i></p> <p><i>Where a primary school has been designed to accommodate 3 classes per year, a total of 15 compliant cycle storage spaces are provided for the whole school. Where there are varying numbers of forms/classes per year, the calculation must be based on the year with the greatest number of classes/forms.</i></p> <p>The design of cycle storage must follow certain specifications in terms of lighting, covering, distance from the entrance...</p>

### 1.8.11. TRA 05 - Plan de transport

Cette question vise à prendre en considération les différentes possibilités de transport offertes aux utilisateurs du bâtiment, en favorisant les possibilités qui offrent aux utilisateurs d'être indépendant des transports avec un impact environnemental élevé. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum.

Critères	Crédits	Explication
Travel Plan	1 crédit	<p>A travel plan has been developed as part of the feasibility and design stages which considers all types of travel relevant to the building type and users.</p> <p>The travel plan is structured to meet the needs of the particular site and takes into consideration the findings of a site-specific transport survey and assessment that covers the following (as a minimum):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Where relevant, existing travel patterns and opinions of existing building or site users towards cycling and walking so that constraints and opportunities can be identified</i></li> <li>- <i>Travel patterns and transport impact of future building users</i></li> <li>- <i>Current local environment for walkers and cyclists (accounting for visitors who may be accompanied by young children)</i></li> <li>- <i>Disabled access</i></li> <li>- <i>Public transport links serving the site</i></li> <li>- <i>Current facilities for cyclists</i></li> </ul> <p>The travel plan includes a package of a package of measures that have been used to steer the design of the development in order to meet the travel plan objectives and minimise car-based travel patterns.</p> <p>Where appropriate to the building type, size and intended operation, the travel plan includes measures tailored to minimise the impacts of operational-related transport e.g. deliveries of supplies, equipment and support services to and from the site.</p> <p>Where the building's final occupier is known, they confirm that the travel plan will be implemented post construction and supported by the building's management during building operation.</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 1. LE CONFORT ET LA QUALITE DE VIE



### 1.8.12. LE 04 - Amélioration de l'écologie du site

Cette question vise à reconnaître et encourager les actions prises pour maintenir et améliorer la valeur écologique du site lors du développement du projet. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum.

Critère	Crédits	Explication
Amélioration de la valeur écologique du site	1 à 3 crédits	<p><b>For one credit:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. A suitably qualified ecologist (SQE) has been appointed to report on enhancing and protecting the ecology of the site. The SQE must provide a report, based on a site visit/survey by the SQE, with appropriate recommendations for protection and enhancement of the site's ecology.</li><li>2. The general recommendations of the Ecology Report for enhancement and protection of site ecology have been, or will be, implemented.</li></ol> <p><b>For one more credit:</b></p> <p>Criteria 1 and 2 achieved</p> <p>The recommendations of the Ecology Report for enhancement and protection of site ecology have been implemented, and the suitably qualified ecologist confirms that this will result in an increase in ecological value of the site up to 6 plant species. The increase in plant species has been calculated.</p> <p><b>For two more credits:</b></p> <p>Criteria 1 and 2 achieved</p> <p>The recommendations of the Ecology Report for enhancement and protection of site ecology have been implemented, and the suitably qualified ecologist confirms that this will result in an increase in ecological value of the site of 6 plant species or greater. The increase in plant species has been calculated.</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE

<b>1.</b>	<b>Préambule</b>	<b>161</b>
<b>2.</b>	<b>Optimiser le système de chauffage</b>	<b>161</b>
2.1.	Remarques préliminaires	162
2.2.	Evaluer l'état et l'efficacité de l'installation de chauffage	164
2.3.	Remplacer le système de production de chaleur	165
2.4.	Améliorer/optimiser le système de distribution de chaleur	166
2.5.	Améliorer / optimiser l'émission ou les corps de chauffe	167
2.6.	Concevoir la régulation du système de chauffage	168
2.6.1	<i>Généralités</i>	168
2.6.2.	<i>Plus précisément</i>	169
2.7.	Améliorer la maintenance et l'entretien	174
<b>3.</b>	<b>Optimiser la production d'eau chaude sanitaire à l'école</b>	<b>176</b>
<b>4.</b>	<b>Production de chauffage par pompe à chaleur</b>	<b>178</b>
4.1.	Principes	178
4.2.	Les différents systèmes	179

Ecole Marcel Pagnol à Cannes - [www.soltech.be](http://www.soltech.be)

4.2.1	<i>La source froide ou capteurs de calories</i>	179
4.2.2	<i>La source chaude ou les émetteurs de chaleur</i>	182
4.2.3	<i>Les types de circuit</i>	183
4.2.4	<i>Les modes d'exploitation</i>	183
4.2.5	<i>La réversibilité des pompes à chaleur</i>	184
4.3.	Installation en rénovation	184
4.4.	Production d'eau chaude sanitaire	186
4.5.	Avantages et inconvénients des pompes à chaleur	186
4.5.1.	<i>Avantages</i>	186
4.5.2.	<i>Inconvénients</i>	186
<b>5.</b>	<b>La production d'eau chaude sanitaire au moyen de l'énergie solaire</b>	<b>187</b>
<b>6.</b>	<b>Optimiser l'éclairage artificiel dans les locaux de classe</b>	<b>188</b>
6.1.	Notions de base	188
6.1.1.	<i>Caractéristiques de base du confort visuel</i>	188
6.1.2.	<i>Caractéristiques des sources lumineuse (lampes)</i>	188
6.1.3.	<i>Caractéristiques des luminaires</i>	191
6.1.4.	<i>Types ou systèmes d'éclairage</i>	191
6.2.	Composition d'un système d'éclairage	192
6.3.	La source lumineuse ou la lampe	192
6.3.1.	<i>Les types de lampes installés dans les locaux de classe</i>	192
6.4.	Les auxiliaires	193
6.5.	Les types de luminaires et leurs composants	194
6.6.	Les types de contrôle et de gestion	195
6.6.1.	<i>Principes de contrôle</i>	195
6.6.2.	<i>Types de gestion</i>	197
6.6.3.	<i>Outils de contrôle</i>	198
6.7.	Evaluation de l'installation existante	199
6.7.1.	<i>Evaluation du confort visuel</i>	199
6.7.2.	<i>Evaluation de l'efficacité énergétique de l'installation</i>	200
6.8.	Optimisation de l'installation d'éclairage d'une classe	201
6.8.1.	<i>Fixer des objectifs</i>	201
6.8.2.	<i>Types de rénovation envisagée</i>	201
6.8.3.	<i>Remplacement des lampes</i>	202
6.8.4.	<i>Remplacement des ballasts</i>	202
6.8.5.	<i>Remplacement de l'optique</i>	203
6.8.6.	<i>Améliorer le contrôle et la gestion de l'installation</i>	203
6.8.7.	<i>Améliorer l'entretien de l'installation</i>	204
<b>7.</b>	<b>La production d'électricité par cogénération</b>	<b>205</b>
<b>8.</b>	<b>La production d'électricité au moyen de l'énergie solaire</b>	<b>207</b>
8.1.	Remarque préalable	207
8.1.1.	<i>Principe de fonctionnement</i>	207
8.2.	Notions générales: Plaquettes de silicium- Cellule / module - Générateur	208
8.3.	La cellule photovoltaïque	209
8.3.1.	<i>Types de cellule</i>	209
8.3.2.	<i>Fonctionnement d'une cellule cristalline</i>	211
8.3.3.	<i>Puissance maximale</i>	211
8.3.4.	<i>Intensité et tension</i>	212



8.3.5.	<i>Influence de la température</i>	212
8.4.	Le module	212
8.5.	L'onduleur	213
8.5.1.	<i>Configurations possibles</i>	214
8.5.2.	<i>Montage et branchements</i>	215
8.6.	Concevoir une installation photovoltaïque en rénovation	216
8.6.1.	<i>Choix de l'emplacement des capteurs</i>	216
8.6.2.	<i>Choix des modules et du raccordement</i>	219
8.6.3.	<i>Choix de l'onduleur</i>	219
8.6.4.	<i>Entretien et maintenance</i>	220
8.6.5.	<i>Système photovoltaïque et énergie grise</i>	220
8.6.6.	<i>IEA Task 47 - projets de rénovation exemplaires avec intégration de panneaux PV</i>	220
<b>9.</b>	<b>La récupération de chaleur sur le système de ventilation</b>	<b>221</b>
9.1.	Principes	221
9.2.	Le récupérateur de chaleur	221
9.2.1.	<i>Types de récupérateur</i>	221
9.2.2.	<i>Caractéristiques de chaque type</i>	224
9.2.3.	<i>Rendement et gain énergétique</i>	224
9.3.	Installation en rénovation	224
9.3.1.	<i>Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation sans récupération de chaleur</i>	224
9.3.2.	<i>Le bâtiment n'est pas équipé d'un système de ventilation</i>	225
9.4.	Entretien	225
<b>10.</b>	<b>Préchauffage / rafraîchissement de l'air par puits canadien/provençal</b>	<b>226</b>
<b>11.</b>	<b>Techniques et efficacité énergétique - Méthode BREEAM</b>	<b>227</b>
11.1.	ENE 02 - Monitoring des consommations énergétiques	
11.2.	ENE 03 - Eclairage extérieur	
11.3.	ENE 04 - Technologies à faible ou zéro émission de carbone	
11.4.	ENE 07 - Systèmes de laboratoire énergétiquement efficaces	



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.1. Préambule

Dans le cadre d'une rénovation durable de bâtiments scolaires, optimiser ou mettre en place des installations techniques efficaces signifie offrir une réponse adéquate aux besoins des occupants, augmenter leur rendement, réduire le nombre d'appareils ou de systèmes et faciliter leur régulation et leur utilisation quotidienne. Cela signifie aussi les rendre peu consommatrices d'énergie et peu polluantes.

Lorsqu'on parle d'installations techniques, on parle des installations de ventilation, de chauffage, de refroidissement, de production d'eau chaude sanitaire et d'éclairage artificiel.

Lorsqu'on parle d'appareils, on parle d'appareil de production (chaudière ou autres), des tuyauteries, des appareils de distribution et des appareils émetteurs ou corps de chauffe.

Lorsqu'on parle d'installation de gestion, on parle des installations de régulation (thermostat, vannes, sondes...)

**L'optimisation de l'ensemble des installations techniques ne peut se faire sans avoir au préalable à optimiser l'enveloppe du bâtiment. Optimiser l'enveloppe et les installations techniques permet d'une part de réduire la consommation d'énergies fossiles et d'autre part, d'augmenter sensiblement le confort des utilisateurs de l'école tout en réduisant considérablement les coûts à l'usage.**

**Nous prendrons donc comme postulat de départ qu'avant d'optimiser les installations techniques d'une école, il y a lieu au préalable de :**

- **réduire les besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage artificiel par une optimisation du volume, de l'organisation spatiale et de l'enveloppe extérieure des bâtiments ;**
- **valoriser au maximum les sources naturelles ou existantes de chaleur, de froid et d'éclairage naturel ;**
- **intégrer et utiliser au maximum des sources d'énergies renouvelables.**

Trois aspects « techniques » devront être traités en priorité dans la rénovation des bâtiments scolaires tant pour augmenter le confort d'enseignement et d'apprentissage mais aussi pour réduire les coûts énergétiques et les impacts sur l'environnement. Il s'agit de l'installation de chauffage et sa régulation, l'installation de ventilation et sa régulation et l'installation d'éclairage artificiel et sa régulation.

**La régulation des installations joue un rôle prépondérant tant au niveau du confort que des économies d'énergies.**

### 2.2. Optimiser le système de chauffage existant



En Europe et dans les pays scandinaves, les écoles ont des consommations énergétiques importantes, essentiellement liées au chauffage des bâtiments et des locaux. Ceci a pour conséquences d'augmenter sensiblement leur frais de fonctionnement et leurs impacts sur l'environnement (émission de gaz à effet de serre notamment).

*Exemple:*

*En 2006, le secteur de l'enseignement bruxellois a consommé 561,44 GWh d'énergie. Ceci représente 2,31% de toute la consommation d'énergie de la Région et 7,24% de la consommation totale du secteur tertiaire.*

*La consommation énergétique d'une école a un profil bien spécifique. Au sein de leurs bâtiments, le poste le plus énergivore est le chauffage (75%), viennent ensuite l'éclairage (15%) et les appareils électriques (10 %).*

*Un élève consomme en moyenne 1.066 kWh de chauffage par an et 223 kWh d'électricité par an. Il «génère» donc une émission annuelle moyenne de plus de 260 kg de CO<sub>2</sub>. Autrement dit, une école de mille élèves présente une émission de 260 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Source : [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be)*

La plupart des installations de chauffage des bâtiments scolaires sont anciennes et peu entretenues. Elles ont souvent un rendement peu élevé et peu d'entre-elles possède une régulation adaptée aux besoins des occupants.

Les installations de chauffage que l'on retrouve fréquemment sont les suivantes :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- Europe centrale : installation centralisée avec production au gaz ou au mazout et une distribution de la chaleur par un réseau d'eau chaude vers des radiateurs ou des chauffages au sol
- Europe du sud : **A COMPLETER par experts**
- Pays scandinaves : **A COMPLETER par experts**

L'ensemble de ces installations fonctionnent principalement au fuel, au gaz ou à l'électricité et présentent des inconvénients majeurs :

- installation peu ou pas isolée ;
- installation peu ou pas régulée ;
- consommation importante d'énergies fossiles ;
- émissions importantes de polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, particules fines, ...)

Il est donc important voir obligatoire d'optimiser ou d'améliorer les installations existantes dans le cadre d'une rénovation durable.

Au niveau d'une installation de chauffage, quatre éléments de l'installation doivent être évalués, optimisés et/ou remplacés. Il s'agit du système de production ou la chaudière, du système de distribution, du système d'émission et du système de régulation qui permet de coordonner les trois fonctions précédentes par rapport aux besoins des occupants

L'optimisation de l'installation de chauffage tiendra également compte de la production d'eau chaude sanitaire (relativement faible dans le cas de bâtiments scolaires) et l'installation de ventilation (qui peut dans certains cas être utilisée comme vecteur de distribution).

Reste la question du coût financier. Sur ce point, il est important d'avoir une vision à moyen ou long terme. Il est évident qu'aujourd'hui, une installation de chauffage dite « traditionnelle » au gaz naturel ou à l'électricité demande peu d'investissement au départ et ce, en comparaison d'installations dites « renouvelables ».

Mais sur le moyen ou long terme, le coût des énergies fossiles ne fera qu'augmenter sans que l'on sache aujourd'hui avec certitude, le niveau de la hausse des prix (x2, x5, x10 ?). Une installation de chauffage basée sur les énergies renouvelables va exiger un plus grand investissement au départ, mais permettra ensuite de profiter d'un service durable à des coûts établis et fixes.



### 2.2.1. Remarques préliminaires

#### → Type d'installation de chauffage

Il existe plusieurs types d'installation de chauffage au niveau des bâtiments scolaires: installation au gaz, au fuel ou au bois avec une distribution de chaleur par un réseau d'eau chaude, installation électrique, en direct ou en accumulation ou installation de chauffage par pompe à chaleur.

Les installations peuvent être centralisées ou décentralisées et ce en fonction de la taille et du volume de l'école, du nombre de bâtiments et de leur répartition sur le site d'implantation.

**Nous développerons dans ce chapitre essentiellement l'optimisation d'une installation de chauffage centralisée avec réseau de distribution par eau chaude. Le point 4 du présent chapitre reprend la production de chauffage par pompe à chaleur.**

#### → Que signifie « optimiser » ?

Optimiser une installation signifie rendre celle-ci efficace, peu consommatrice en énergie, peu polluante et facile à utiliser ou à réguler. L'optimisation d'un système de chauffage existant ne peut se faire sans avoir, au préalable, amélioré les performances énergétique de l'enveloppe du bâtiment, à savoir une isolation renforcée des façades, de la toiture et de la

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



dalle de sol, une étanchéité à l'air renforcée pour l'ensemble des parois extérieures et l'élimination des ponts thermiques. Dans le cadre d'une rénovation durable de bâtiments scolaires, l'installation de chauffage doit être revue et améliorée en fonction de plusieurs facteurs :

### Les besoins de chaleur des occupants

Le projet de rénovation de l'école peut d'une part avoir engendré une nouvelle distribution des locaux et/ou modifié la fonction de ceux-ci et d'autre part, avoir amélioré fortement la performance énergétique de l'enveloppe des bâtiments. Dans les deux cas, les besoins de chauffage auront sensiblement diminué par rapport à la situation existante.

Dans le cas de bâtiments rénovés et devenus performants ou très performants, le besoin de chauffage est faible et varie fortement en fonction des gains solaires et des gains internes. L'installation existante de chauffage sera alors surdimensionnée par rapport aux nouveaux besoins.

### La gestion de la variabilité temporelle des besoins

Les bâtiments scolaires présentent une forte variabilité dans les besoins de chauffage. En période hivernale, les bâtiments scolaires sont chauffés entre 7h30 du matin et 16h30 de l'après-midi. La plupart du temps le chauffage est coupé le soir et la nuit ainsi que durant les week-ends et les congés scolaires.

Les bâtiments scolaires présentent également différents types de locaux, chacun ayant des spécificités d'occupation et de besoins de chauds propres. Si les locaux de classe sont pour la plupart chauffés de 7h30 à 16h30, d'autres locaux ne le sont que par intermittence en fonction de leur occupation.

Cette variabilité de besoins doit donc être intégrée dans l'optimisation de l'installation de chauffage.

### L'état général et particulier du système de chauffage

La plupart des installations de chauffage des bâtiments scolaires sont anciennes et vétustes. Avant d'optimiser l'installation, il est important d'évaluer l'état général de l'installation et plus particulièrement l'installation de production, les conduites et le système de régulation s'il existe.

### Le type de combustible utilisé

En Europe centrale, la plupart des écoles possèdent des installations de chauffage fonctionnant au gaz ou au fuel. De nombreuses écoles construites dans les années 60 présentent également un système de chauffage par air chaud pulsé. Avant d'optimiser l'installation, il y a donc lieu de se poser la question de la pertinence du vecteur énergétique existant et des autres possibilités possibles.

#### → La participation des élèves et enseignant dans la gestion du chauffage à l'école

La participation des élèves et des enseignants dans le maintien de l'efficacité énergétique de leur école est primordiale. Cette participation nécessite une prise de conscience sur certaines actions à mener et sur certains comportements à adopter. Ces actions et ces comportements auront d'autant plus d'impacts que les bâtiments ne sont pas performants:

*On peut par exemple :*

- *Abaisser la température de 1 à 2°C dans les classes ;*
- *Limiter la température de certains locaux comme les couloirs, les sanitaires, les salles de sports...*
- *Couper l'installation de chauffage durant la nuit, les week-ends et durant les congés scolaires;*
- *Si possible, utiliser l'inertie du bâtiment pour anticiper la coupure de fin de journée;*
- *Fermer les portes menant vers l'extérieur ou des locaux moins chauffés (couloir, locaux non chauffés...);*
- *Placer des ferme-portes sur les portes à passages fréquents;*
- *Ne pas couvrir les radiateurs;*
- *Régulièrement purger les radiateurs.*

D'autres actions, plus concrètes au niveau de l'optimisation de l'installation peuvent être réalisées.... Ces actions ne nécessitent pas de gros investissements et peuvent être mises en place lors de journées spécifiques avec les différents acteurs de l'école, notamment les élèves et leurs parents :

- *Placer des panneaux isolants ou réflecteurs derrière les radiateurs;*
- *Isoler les tuyauteries;*
- *Placer des vannes thermostatiques.*

**Ces changements de comportement et ces légers aménagements n'engendrent aucune contrainte, perte de confort ou investissement lourd mais ont, pourtant, un réel impact sur la consommation d'énergie. Ces actions ont également l'avantage de conscientiser les élèves, les enseignants et les parents à une utilisation plus rationnelle de l'énergie au travers de modifications de comportements.**

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Des élèves améliorant la performance énergétique de leur école avec le facilitateur « Ecole - Energie » - Région Wallone, Belgique - Images : Sylvie Rouche

### 2.2.2. Evaluer l'état et l'efficacité du système de chauffage

Avant de faire un choix sur la conservation et l'optimisation ou le remplacement de l'installation de chauffage, il y a lieu de faire l'entretien de celle-ci et ensuite d'évaluer l'état et la qualité de l'installation et de ces différentes composantes : production, distribution, régulation.

#### 2.2.2.1. La production de chaleur

Après avoir effectué l'entretien de l'installation, on vérifiera le rendement de l'installation. Si celui-ci est inférieur à 88% (ancienne installation) ou 91% (installation plus récente), des améliorations partielles peuvent être envisagées. Mais il faut être conscient qu'il s'agit bien souvent de «placer un emplâtre sur une jambe de bois». C'est pourquoi il est parfois plus intéressant d'envisager le remplacement complet de la chaudière.

Cependant, dans le cas de bâtiments scolaires à rénover, si des investissements ont déjà été engagés dans la rénovation énergétique de l'enveloppe, il se peut que d'autres investissements énergétiques ne soient pas envisageables à court terme. Ces améliorations partielles de l'installation de production peuvent ainsi être menées, à faible coût, en attendant que le projet de remplacement soit monté :

#### → Améliorer le réglage de la combustion

Un excès d'air améliore le rendement de combustion. Lors du réglage du brûleur et de la mesure du rendement, l'optimum est trouvé en augmentant l'excès d'air au maximum avant l'apparition d'imbrûlés.

#### → Améliorer l'évacuation des fumées

La mise en place ou le réglage du régulateur de tirage améliore le rendement de combustion et évite la condensation trop rapide dans la cheminée de la vapeur d'eau des fumées en trouvant l'optimum de la vitesse des fumées.

#### → Modifier la régulation du brûleur

Il est fréquent de rencontrer des brûleurs performants (anciens ou récents) dont les avantages ne sont pas exploités réellement : la non fermeture à l'arrêt du volet d'air motorisé et l'absence de régulation en cascade des brûleurs 2 allures. Dans le premier cas, il est nécessaire de faire contrôler l'asservissement du clapet motorisé (si existant) afin de réduire les pertes par balayage à l'arrêt. Dans le second, le réglage de la cascade par rapport à la commande de deux aquastats réglés à des températures différentes (sur le départ ou le retour des chaudières) évite le fonctionnement du brûleur à pleine puissance en permanence.

#### → Améliorer la régulation en cascade des chaudières

La régulation en cascade de chaudières en parallèle permet de mieux maîtriser :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- les pertes à l'arrêt par l'isolation hydraulique des chaudières dont la puissance de chauffe est inutile à certains moments de la saison de chauffe.
- les temps de fonctionnement des brûleurs (limitation des pertes et des polluants) dus à la meilleure adéquation de la puissance de chauffe en fonction de la température extérieure.

Son amélioration permet des économies substantielles.

### → Diminuer la puissance du brûleur

En cas de surdimensionnement de la chaudière (souvent dans les vieilles installations ou après des travaux sur l'enveloppe des bâtiments), il est intéressant de revoir les caractéristiques du brûleur afin de diminuer la puissance de chauffe (à l'exception des brûleurs gaz atmosphériques). Cette diminution de puissance se fait sur les chaudières fuel en modifiant les caractéristiques du gicleur et sur les chaudières gaz en diminuant la pression du gaz. Néanmoins, cette diminution est limitée à 60-80 % de la puissance nominale suivant le modèle.

### → Diminuer la température de fonctionnement des chaudières

Travailler sur le régime des chaudières en fonction de la température extérieure (température glissante) réduit les pertes à l'arrêt mais cela s'avère délicat. Il faut prendre ses renseignements auprès du fabricant avant de le réaliser afin d'éviter de l'inconfort à partir de certains circuits hydrauliques perturbés et de la condensation responsable de la corrosion interne.

### → Colmater et ré-isoler la chaudière

La chasse aux fuites parasites et leur colmatage réduisent les pertes par balayage et améliore le rendement de combustion en réduisant l'excès d'air. De même, l'isolation de la jaquette réduit les pertes.

### 2.2.2.2. La distribution et l'émission de chaleur

On vérifiera l'état général du réseau de distribution (conduites, vannes...) et plus spécifiquement les éléments « à risques » tels que les raccords, les coudes, ... On vérifiera également l'état des émetteurs de chaque local.

### 2.2.3. Remplacer le système de production de chaleur

Dans le cas où l'installation de production de chaleur est vétuste, en mauvais état ou présente un rendement inférieur à 88%, il y a lieu de remplacer celle-ci. Le remplacement des chaudières doit être envisagé dans le cadre d'une réflexion globale en tenant compte de l'ensemble des composantes de l'installation (production, distribution, émission et régulation) mais aussi de l'amélioration énergétique de l'enveloppe des bâtiments, des gains internes liés à l'occupation...

Vu l'importance de l'investissement financier, il est important de se poser différentes questions notamment sur le choix du combustible, sur l'option possible de la condensation et sur l'optimisation de la régulation. C'est aussi l'occasion d'analyser l'état du circuit de distribution afin d'éviter de venir brancher une installation neuve « sur une jambe de bois ».

Les systèmes de production de chaleur se distinguent par leur rendement et par leur vecteur énergétique. Les vecteurs énergétiques sont soit non renouvelable ou fossile (fuel, gaz, charbon), soit renouvelable (biomasse, solaire, hydraulique, éolien).

Lors du remplacement de la chaudière et en fonction du budget disponible, on encouragera dans la mesure du possible, l'utilisation de vecteurs énergétiques renouvelables. Le choix de ce vecteur se fera également en fonction de l'implantation de l'école (urbain, périurbain, campagne...), de la présence d'un réseau de chaleur et des disponibilités locales en termes de ressources. Trois combustibles sont généralement mis en balance : le bois, sous forme de plaquettes ou de pellets, le fuel et le gaz naturel. Différents arguments peuvent faire pencher le décideur vers l'une ou l'autre de ces solutions.

### → Efficacité énergétique

Si l'on devait classer les chaudières en fonction de leur efficacité énergétique, on obtiendrait le résultat suivant :

- les chaudières gaz à condensation,
- les chaudières fioul à condensation,
- les chaudières traditionnelles gaz ou fuel à brûleur pulsé, chaudières gaz à brûleur à prémélange modulant et les chaudières bois-énergie,
- les chaudières gaz atmosphériques.

Les technologies des chaudières gaz à condensation permettent d'atteindre des rendements normalisés de 110 % du PCI. Si l'on considère que le rendement actuel normalisé des chaudières basse température oscille entre 93 et 96 %, qu'il s'agisse de fuel, de gaz ou de bois. Le gain réalisé en optant pour le gaz à condensation tourne autour des 15 %, une éco-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



nomie non négligeable. Les chaudières au mazout à condensation permettent d'atteindre un rendement de 104 % du PCI.

### → La production de CO<sub>2</sub> et les émissions polluantes

Chez l'utilisateur final et à technologie égale, la combustion du gaz produit 25 % de CO<sub>2</sub> en moins que la combustion du fuel (pour une consommation énergétique équivalente). A lui seul, cet argument permet de recommander le gaz par rapport au mazout dans le cadre d'une politique de réduction de l'émission des gaz à effet de serre.

En ce qui concerne le bois, sa combustion a un impact neutre sur l'émission de CO<sub>2</sub>. On peut s'en rendre compte en considérant le cycle de carbone. Néanmoins, cet argument est vrai si la forêt à laquelle le bois est prélevé est gérée de manière durable. Dans l'affirmative, on voit l'énorme potentiel que représente le bois pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Même en considérant le cycle complet du bois, c'est-à-dire son extraction, son conditionnement ainsi que son transport en plus de la combustion, on voit que l'émission de CO<sub>2</sub> pour une même production d'énergie est nettement inférieure aux autres vecteurs énergétiques. Le gaz est le combustible le moins polluant à l'utilisation : émission de CO<sub>2</sub>, de SO<sub>2</sub>, de suies et de NO<sub>x</sub> moins élevée. Suivant le type d'émission auquel on s'intéresse, le mazout et le bois sont plus ou moins polluants. En termes d'émission de NO<sub>x</sub>, les deux vecteurs énergétiques se valent. En fait, le bois émet moins de SO<sub>2</sub> mais plus de particules fines (poussières).

### → Le coût du combustible

Dans le passé, le fuel était, en moyenne, moins cher que le gaz et permettait d'importantes économies. Aujourd'hui, il est difficile de déterminer clairement l'avantage économique de ces deux sources énergétiques. Le bois est moins cher que le gaz et le pétrole, il permet ainsi des économies et amortit largement les investissements. Les granulés de bois ont un prix qui tend à s'aligner sur celui du fuel, tout en restant sensiblement moins cher.

### → L'investissement financier

Le coût des chaudières gaz et mazout est semblable, quel que soit le système choisi. La différence de coût est en tout cas minime par rapport au coût global de l'installation. Les technologies à condensation sont plus chères que les chaudières traditionnelles, mais leur surcoût est rentabilisé par les économies d'énergie réalisées.

Les installations au bois sont significativement plus chères que leurs homologues gaz et fuel. Cette différence est essentiellement due au prix de la chaudière, d'une part, et au coût de l'installation de stockage et de transport (du stockage vers la chaudière). Dans certains cas, il faut même construire un nouveau bâtiment pour pouvoir réaliser ce stockage de combustible. En conclusion, l'investissement pour une installation au bois dépend fortement du contexte, mais de manière générale, on peut dire que l'on est dans un ordre de grandeur supérieur par rapport au gaz et au mazout.

**D'autres arguments comme le volume de stockage, le contrôle des installations et le besoin de combustible pour d'autres usages (cuisines par exemple) peuvent aussi influencer le choix.**

### 2.2.4. Optimiser le système de distribution de chaleur

L'amélioration du réseau de distribution doit permettre de limiter les pertes de chaleur entre le système de production et les corps de chauffe et de limiter la consommation électrique des circulateurs. Pour ce faire, il est conseillé de limiter la longueur des conduites et de les isoler mais aussi de choisir un circulateur à vitesse variable, permettant une interruption du système en l'absence de demande de chaleur.

### → Isoler les tuyauteries et les vannes

L'isolation des conduites et des vannes est une solution évidente, voire obligatoire car elle permet de réduire les pertes de 80 à 90%. Ce qui signifie que l'investissement sera toujours remboursé très rapidement par les économies d'énergie. Isoler les vannes est également très rentable. Cette action est cependant rarement entreprise et suscite souvent la méfiance des responsables techniques. L'argument avancé est que la présence d'isolant masque provisoirement l'apparition de fuites et les dégâts encourus risqueraient alors d'être plus importants.

Ce raisonnement est cependant à relativiser :

- toute vanne ne présentant pas de faiblesse visible, doit être isolée au moyen de coquilles ou de matelas facilement démontable. Une surveillance régulière peut alors être facilement réalisée.
- il ne faut évidemment pas isoler une vanne qui présente déjà des défauts d'étanchéité, mais de toute façon ces vannes devraient d'office être remplacées car toute fuite et rajout d'eau est source de corrosion interne pour l'installation.

### → Equilibrer la distribution

Le manque de débit dans un circuit d'une installation de chauffage est un signe de déséquilibre des pertes de charge entre circuits. Ce déséquilibre peut entraîner des surconsommations indirectes par la rehausse d'une courbe de chauffe.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Isolation des tuyaux et vannes - Images : Sylvie Rouche

Donc, l'augmentation des débits ou une action quelconque sur la régulation est une mauvaise solution. En première approche, le placement de vannes thermostatiques sur les émetteurs améliore déjà la situation. L'idéal est de placer et d'effectuer un réglage correct des vannes d'équilibrage différentielles sur les pieds de colonne. Il est conseillé de faire appel à des spécialistes ou de posséder une solide expérience en matière d'équilibrage car cela est loin d'être aisé et demande pas mal de temps.

### → Réduire le débit des circulateurs

La réduction des débits de circulation entraîne une diminution des consommations électriques et quelquefois une amélioration des problèmes de confort et hydrauliques. En tout premier lieu, la coupure des circulateurs en saison chaude ou lorsque la température extérieure atteint une certaine valeur (15°C par exemple), constitue un bon début. D'autres actions sont possibles, comme :

- le remplacement d'un ancien circulateur surdimensionné par un circulateur à plusieurs vitesses dont la sélection des vitesses s'exécute en fonction de la température extérieure, donne un temps de retour de l'ordre de 5 ans.
- le remplacement de ce même circulateur par un à vitesse variable améliore encore plus la situation par rapport au circulateur à 3 vitesses. On estime le temps de retour de l'opération aussi à 5 ans.

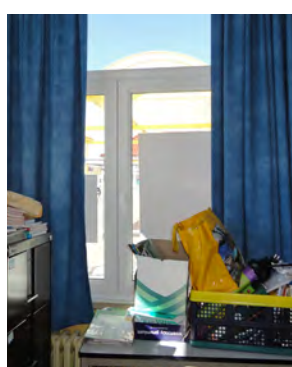
### 2.2.5. Optimiser l'émission de chaleur ou les corps de chauffe

Dans de nombreuses écoles les radiateurs sont placés devant des murs de façades non isolés et/ou des allèges vitrées. Ce qui donne lieu à des pertes importantes (environ 39 litres de fuel pour 1m<sup>2</sup> de mur en brique de 24cm). Les radiateurs sont la plupart du temps recouverts de livres, de matériel ou d'objets divers.

### → Insulating breast walls behind heating units

Dans le cas où la rénovation de bâtiments scolaires n'aura pas considéré l'isolation complète des façades, il est intéressant d'isoler la paroi derrière l'émetteur. A titre d'exemple, une simple isolation de 0,5 cm d'épaisseur recouverte d'une feuille d'aluminium peut être rentabilisée en moins d'un an.

Dans le cas des allèges vitrées, il est intéressant de remplacer ces allèges par des parois pleines et isolées mais cela implique des travaux et un investissement plus conséquents et souvent une demande de permis.



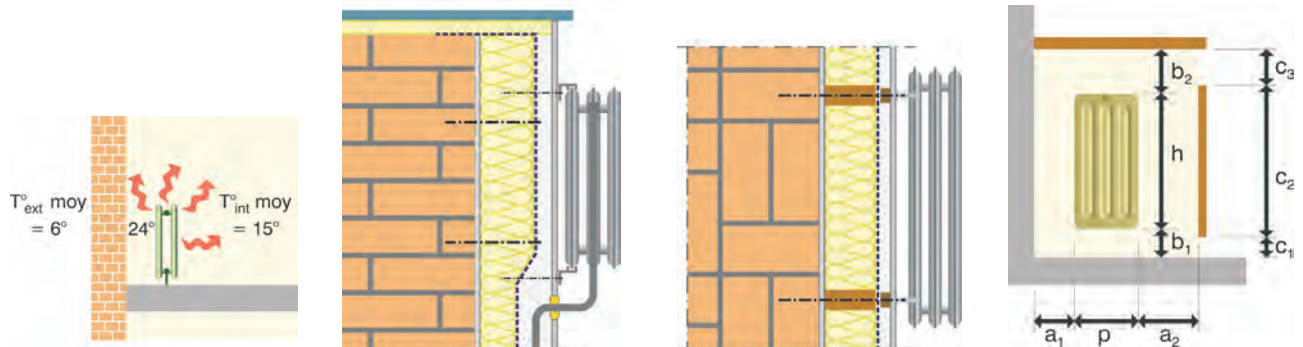
Images : Sylvie Rouche

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Si l'espace entre le radiateur et le mur de façades le permet (il faut laisser un espace de 3 cm entre le radiateur et la paroi), il est recommandé de coller sur la face intérieure une plaque isolante de 2 cm d'épaisseur, recouverte d'une feuille d'aluminium.



### → Dégager les corps de chauffe

Tous les éléments enveloppant un corps de chauffe (tablettes, alcôves décoratives, livres, cahiers, classeurs ou vêtements que l'on dépose sur les radiateurs, tentures recouvrant les corps de chauffe) sont des entraves à l'émission de chaleur.

En soi, cette entrave ne provoque pas une consommation complémentaire mais risque de conduire à un inconfort. Si cet inconfort pousse les gestionnaires à augmenter la température de l'eau de l'installation et peut-être à surchauffer certaines zones du bâtiment, cela va évidemment à l'encontre de l'efficacité énergétique.

On a donc toujours intérêt à éliminer tous les obstacles présents sur les corps de chauffe. L'émission d'un radiateur ne sera guère altérée si les dimensions des niches suivantes sont respectées (voir schéma ci-dessus)

### → Equilibrer l'installation

Une installation de chauffage doit être correctement équilibrée c.à.d. que les différents corps de chauffe sont bien alimentés avec leur débit nominal. Dans le cas contraire, les locaux en bout de circuit risquent des problèmes de confort que l'on va compenser par une augmentation des paramètres de régulation et provoquer ainsi une surconsommation d'énergie.

## 2.2.6. Concevoir la régulation du système de chauffage

*Cette partie de chapitre a été rédigée sur base de l'expérience du facilitateur « Energie | Ecole » en Région Wallonne.*

### Remarque préalable : Importance d'une régulation simple d'utilisation

La tendance en termes de régulation est à la sophistication des systèmes : tout devient possible mais paradoxalement les équipements de régulation deviennent de plus en plus difficiles à comprendre et à utiliser pour un utilisateur commun.

Or si l'utilisateur et/ou le gestionnaire technique ne comprend pas ou ne connaît pas le fonctionnement des équipements et des systèmes intégrés dans le bâtiment, même le meilleur système de régulation peut conduire à un désastre énergétique. C'est pourquoi, le concepteur, lors de la rénovation de bâtiments scolaires installera des équipements de régulation en fonction des compétences et connaissances de l'occupant et/ou du gestionnaire. C'est la technique qui se met au service de l'occupant et pas le contraire.

### 2.2.6.1. Généralités

L'installation de régulation peut être améliorée par les mesures suivantes :

#### → Installer une régulation sur l'installation de chauffage si celle-ci n'en possède pas

Trop d'installations anciennes ne possèdent pas de régulation : la température de l'eau dans la chaudière ou la position des vannes mélangeuses est modifiée manuellement en fonction de la saison. Il n'y a aucun réglage de la température ambiante, si ce n'est par l'ouverture des fenêtres. Cette situation est évidemment inacceptable. Si l'installation ne possède pas de régulation, l'idéal serait d'en concevoir une complète telle qu'on pourrait l'imaginer pour une nouvelle installation. Il faudra cependant être attentif au type de la ou des chaudières installées. Si l'installation possède une régulation, celle-ci peut aussi être réhabilitée : remplacement des moteurs de vanne, remplacement des régulateurs, remplacement des sondes, ....

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### → Améliorer le ralenti nocturne

Différents ralentis nocturnes peuvent être envisagés; à savoir pendant les heures creuses : un ralenti par abaissement de température (souvent rencontré, mais pas très efficace), la coupure du système de chauffage en combinant une horloge et un thermostat d'ambiance ou la coupure du chauffage avec relance optimisée en combinant un optimiseur avec le même thermostat d'ambiance. La réduction des pertes se situant dans la fourchette 10-37 %, ces améliorations sont rentables.

### → Améliorer le réglage des courbes de chauffe

Le réglage de la courbe de chauffe est nécessaire si le confort n'est pas atteint de manière générale dans le bâtiment (trop froid entraîne un inconfort, trop chaud à la fois un inconfort et une surconsommation). La courbe de chauffe est propre à chaque bâtiment et dépend des caractéristiques des émetteurs, de la température intérieure souhaitée et des caractéristiques thermiques du bâtiment. Si un de ces paramètres change – ce qui est le cas lors d'une rénovation - il est nécessaire de revoir le réglage de la courbe de chauffe.

### → Placer des vannes thermostatiques

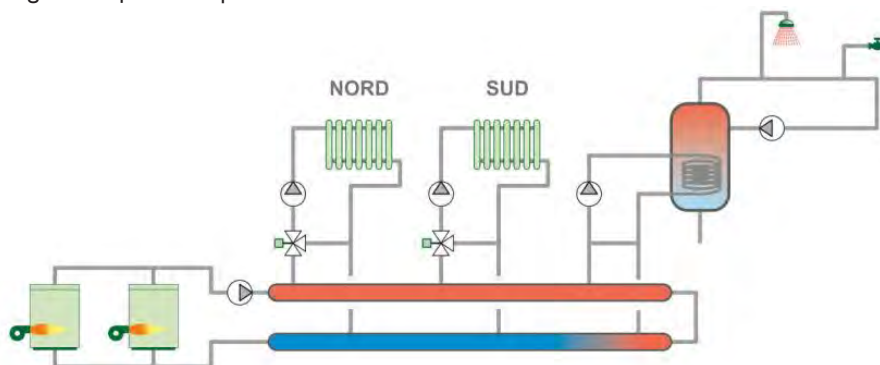
Les vannes thermostatiques permettent de limiter la puissance d'un corps de chauffe dans des locaux où les apports de chaleur (ensoleillement, occupation importante, bureautique, éclairage, ...) sont supérieurs aux autres, variables et conduisent à des problèmes de surchauffe locale. La gamme de vannes est très large : de la plus simple à la plus sophistiquée. Le choix doit s'opérer en fonction de la sensibilité des occupants à la bonne gestion.



Images: Sylvie Rouche

### → Réguler l'installation par zones homogènes

Il est important de maîtriser le bâtiment à réguler par le recensement des zones bénéficiant d'apports externes (cas des façades nord et sud) ou des profils d'occupation différents (zones occupées en dehors des heures normales par exemple). Dans la mesure du possible, ces différentes zones ont intérêt à être regroupées en zones homogènes permettant d'assurer une régulation plus adéquate.



### 2.2.6.2. Plus précisément...

Nous partons du principe que l'installation existante n'est pas réglée et que l'on remplace la production de chaleur. Le placement d'une régulation correcte sur une installation non réglée (c'est-à-dire sans ralenti nocturne et sans contrôle précis de la température intérieure) permet 30 % d'économie sur la facture annuelle de combustible.

En partant d'une installation traditionnelle présentée graphiquement ci-dessous, plusieurs peuvent être prises et ce, par ordre de priorité :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE

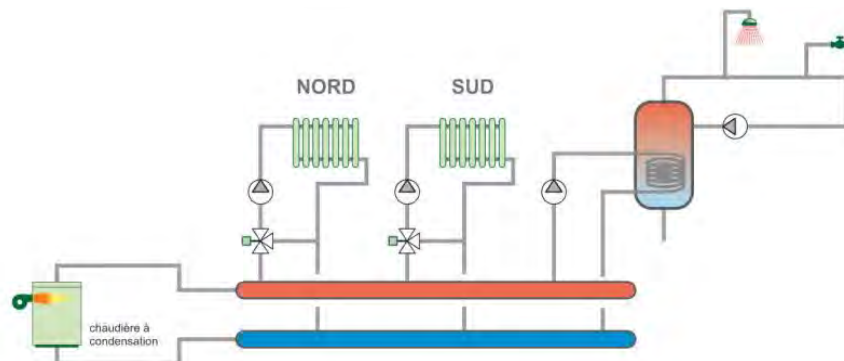


### → Remplacer les chaudières existantes par une seule chaudière

La fiabilité technique des chaudières étant en nette hausse, le risque de panne est très faible. De plus, l'isolation croissante des bâtiments scolaires permet de conserver une température suffisante durant les 24h d'intervention du chauffagiste, le cas échéant. Puisque le rendement d'une chaudière est amélioré à faible charge, il est énergétiquement intéressant de n'installer qu'une seule chaudière :

- Si le vecteur énergétique est le gaz, on choisira une chaudière à brûleur modulant ;
- Si le vecteur énergétique reste le fuel, on choisira une chaudière fuel à 2 allures.

Si la production de chauffage existante a été remplacée par une chaudière unique, le besoin d'une gestion en cascade disparaît.



#### Remarque:

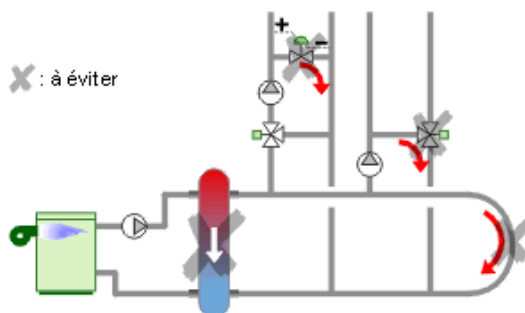
De nombreux fabricants mettront en avant la « tranquillité maximale » pour encourager l'installation d'une deuxième chaudière mais en réalité le coût du dédoublement des chaudières ne se justifie plus, hormis pour les très grosses puissances. Une solution alternative de bon père de famille consiste à conserver une des vieilles chaudières en parallèle sur la nouvelle, mais sans irrigation. Au cas où..., elle pourra toujours servir !

### → Remplacer les chaudières existantes par une chaudière à condensation (gaz) ou à très basse température (fuel)

Dans le cas d'une chaudière ancienne, l'eau froide envoyée le matin dans la chaudière lors de la relance du système de chauffage détériorait la chaudière : condensation interne, corrosion, tension mécanique entre le départ chaud et le retour froid, ... Dans le cas d'un remplacement de la chaudière existante par une chaudière à condensation, l'arrivée d'eau froide est justement recherchée pour améliorer le rendement de l'installation (condensation plus importante).

Dans ce cas, le circuit primaire s'ouvre, la pompe primaire disparaît...et le besoin d'une régulation de la température de l'eau de retour lors de la relance disparaît...

*A noter : le fabricant devra attester de la capacité de la chaudière à fonctionner à débit nul. Attention, les chaudières qui ont un bypass interne de protection sont à éviter.*



### → Produire l'eau chaude sanitaire – si elle est nécessaire – de manière décentralisée et instantanée

Les besoins d'eau chaude sanitaire dans une école sont diversifiés et sporadiques : cuisine, local entretien, douches de la salle de sports... Si la chaudière existante a été remplacée par une chaudière à condensation, la demande d'eau très chaude vers le ballon va perturber la bonne condensation en chaudière.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Dans le cas de besoins limités en eau chaude sanitaire, en présence du gaz naturel :

Dans les installations existantes et anciennes, la production est concentrée en chaufferie. De la chaufferie, une longue boucle sanitaire alimente les différents lieux de puisage... Aujourd'hui, l'arrivée de préparateurs d'eau chaude «étanches» (ou « à ventouse ») peut simplifier l'installation :

- la production d'eau chaude sanitaire peut être décentralisée et instantanée (plus de stockage d'eau chaude),
- la boucle sanitaire (et son circulateur) disparaît,
- en cas de présence de douches, une fourniture instantanée d'eau à 45° supprime les soucis de légionnelle.

Le besoin de régulation de la «priorité eau chaude sanitaire» ne doit plus être intégré dans la régulation de l'installation.

### En cas de besoins limités, en absence du gaz naturel :

On pensera à une décentralisation via des petits boilers électriques. Le besoin de régulation de la «priorité eau chaude sanitaire» ne doit plus être intégré dans la régulation de l'installation.

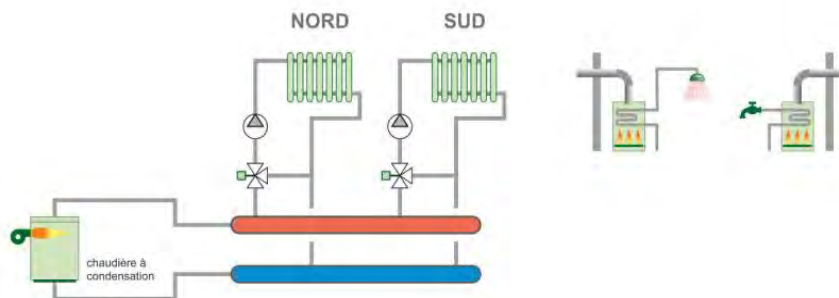
### En présence de besoins importants d'eau chaude sanitaire (piscine, grande cuisine collective, ...) :

On pensera à installer une chaudière spécifique, dédiée uniquement à l'eau chaude sanitaire et indépendante de l'installation de chauffage.

On privilégiera :

- une chaudière à condensation à 2 retours, permettant de raccorder l'eau chaude sanitaire sur le retour à haute température ;
- un système à semi-accumulation et une température la plus basse possible.

On envisagera également la possibilité d'intégrer un système de production solaire tout en s'assurant de sa rentabilité.

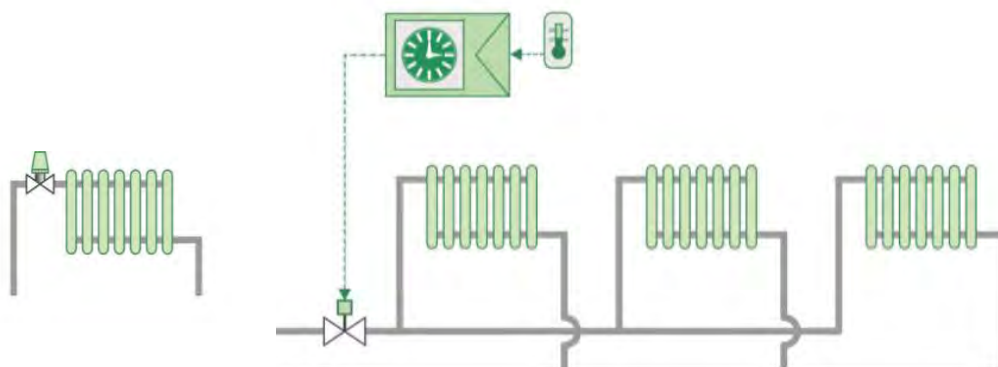


### → Placer des vannes thermostatiques et abandonner les vannes à « trois voies mélangeuses »

Au niveau des bâtiments scolaires, plusieurs constats peuvent être faits. Avec l'isolation renforcées des bâtiments (nouveaux châssis, isolation des toitures,...), les besoins de chaleur sont de plus en plus liés aux apports internes (présence ou non des élèves) ou externes (gains solaires). Il est très difficile de trouver un local témoin représentatif d'une zone dans une école. Si la production d'eau chaude est indépendante, il n'y aura plus de montée en température intempestive de l'eau de chaudière – priorité à l'eau chaude sanitaire - ce qui nécessitait la présence de vannes mélangeuses...

On installera donc une régulation terminale sur le débit qui permet de moduler les apports de chaleur local par local :

- via une vanne thermostatique traditionnelle (école primaire, local bibliothèque...)
- via une vanne thermostatique institutionnelle (école secondaire, couloir...)
- via une vanne motorisée (réfectoire, salle de sports...)



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

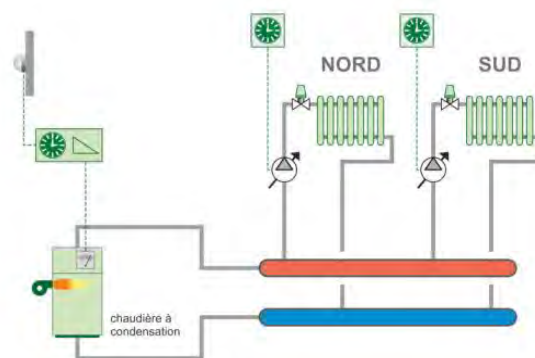
## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Puisque le débit d'eau dans les émetteurs est stoppé lorsque les besoins de chauffe s'annulent (arrivée des élèves ou du soleil), l'intérêt de préparer l'eau de chauffage à une T° variable en fonction de l'orientation des façades diminue fortement...

**On pourra donc, sans perte majeure de performance, se contenter d'une régulation de la température d'eau de chaudière sur sonde extérieure et d'une régulation terminale en débit dans les radiateurs.**

La régulation climatique de chaque circuit secondaire ne se justifie plus... Le besoin de vannes 3 voies mélangeuses disparaît... Seule reste la programmation distincte de chaque circulateur secondaire (à vitesse variable) via une horloge, hebdomadaire ou annuelle.



Remarque :

On pourrait justifier la vanne 3 voies en présence d'émetteurs différents : aérothermes, chauffage par le sol, convecteurs, ... mais, si la puissance est suffisante, le fonctionnement des aérothermes à plus basse température va améliorer le rendement (diminution de la stratification des températures). Quant au chauffage par le sol, il est inadéquat dans une école (impossibilité de réduire fortement la fourniture de chaleur dès l'arrivée des élèves). S'il est déjà présent, une vanne mélangeuse spécifique limitera la température de l'eau vers le sol.

### → Gérer la mise « hors-gel »

Dans les anciennes installations de chauffage, on maintenait une distribution d'eau de chauffage la nuit et le week-end, à température réduite pour réduire le risque de gel des installations.

Or c'est la coupure totale des installations qui entraîne le maximum d'économies. Aussi, on veillera à couper totalement la chaudière et circulateurs après 16h00 les jours de semaine et les week-ends, tout en prévoyant une relance via :

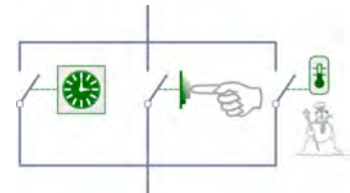
- une horloge,

Ou

- une dérogation 2h pour une réunion en soirées,

Ou

- une sonde anti-gel pour la période des vacances.



### → Abandonner l'optimisation de la relance

Avec l'isolation renforcées des bâtiments scolaires (nouveaux châssis, isolation des toitures,...), les besoins de chaleur sont de plus en plus liés aux apports internes (présence ou non des élèves) ou externes (gains solaires). Et les émetteurs sont souvent surdimensionnés. Dès lors, le temps de relance est fortement diminué.

Le concept d'optimisation (redémarrage au dernier moment, en fonction du froid extérieur et de la température résiduelle ambiante) qui, en pratique, a toujours été difficile à mettre en œuvre sur le terrain scolaire, est énergétiquement moins intéressant puisque la température des locaux en fin de nuit a moins baissé...

Si la programmation de la relance via les horloges des circulateurs est bien réfléchi, elle pourrait suffire pour réaliser l'essentiel du gain de la coupure :

- un démarrage plus précoce le lundi que le mardi et les autres jours de la semaine;
- deux horaires de démarrage sur l'horloge annuelle : l'une pour la période hivernale et l'autre pour la période estivale.

Il est à noter que l'abandon de l'optimisation de la relance est discutable dans le cas de bâtiments scolaires peu isolés.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Dans ce cas, plusieurs solutions sont envisageables :

**Solution 1** : profiter d'une fonction d'optimisation présente dans la régulation de la chaudière pour démarrer celle-ci au moment idéal, tout en laissant un horaire fixe au niveau des circulateurs ;

**Solution 2** : le thermostat de commande des circulateurs comprend parfois un optimiseur simplifié : il démarre d'autant plus tôt que le local est froid, indépendamment de la température extérieure.

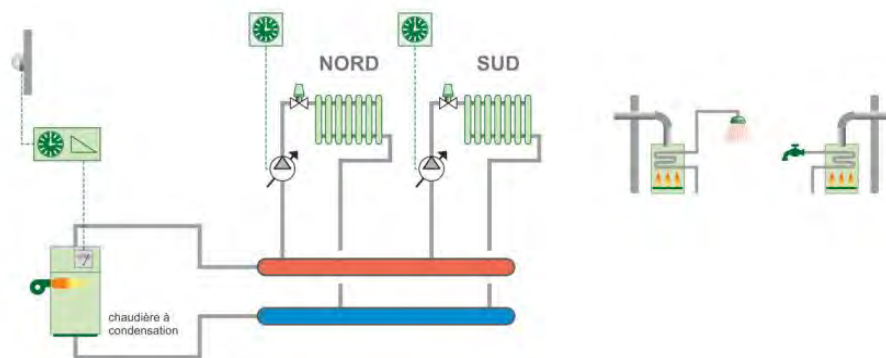
Remarque:

Dans tous les cas, le besoin d'optimisation ne peut justifier à lui seul le placement d'un régulateur qui coifferait chaudière et circulateurs... diminuant la lisibilité d'une personne non spécialisée. Notre expérience de terrain nous permet d'affirmer que le risque de mauvaise utilisation dépasse de très loin le petit gain supplémentaire apporté par l'optimisation !

### → Une régulation simple pour une installation simple

Installer une régulation simple d'utilisation dans les bâtiments scolaires consiste à installer :

- une régulation climatique de la chaudière, idéalement celle proposée par le constructeur ;
- des préparateurs d'eau chaude sanitaire instantanés indépendants ;
- une programmation horaire des circulateurs des circuits secondaires à vitesse variable ;
- des sondes antigel et bouton de dérogation «2 heures».



Quelques mises au point restent à décider en fonction du projet... Par exemple :

- Pour simplifier, l'horloge de la chaudière pourrait être annuelle et celles des circulateurs, hebdomadaires.

Exemple :

*Si les circulateurs tournent le jeudi de l'Ascension, mais que la chaudière est à l'arrêt, c'est le principal.*

- La régulation de la chaudière pourrait être en 3 temps : courbe de chauffe normale en journée, courbe de chauffe réduite en période de nettoyage, arrêt le reste du temps. Mais si l'isolation est suffisante, le chauffage réduit en période de nettoyage n'est plus nécessaire, la température baissera trop lentement...
- La gestion de l'hors-gel peut être simplifiée si le circulateur de chaque zone se met en route dès que la température dans son local témoin descend sous une température donnée (exemple : 10°C) et si la chaudière se met en route dès que la température extérieure descend sous une température donnée (exemple : -2°C).
- La gestion de la dérogation se fera-t-elle zone par zone ou pour l'ensemble de l'école ? Si c'est zone par zone, le contact de dérogation mettra en route le circulateur de la zone mais la chaudière également. Si c'est pour l'ensemble de l'école, on peut peut-être profiter d'un contact disponible sur la régulation de la chaudière pour mettre en route tous les circulateurs.

**A chaque scénario, la simplicité d'utilisation doit être recherchée.**

### → Le choix d'un régulateur

La régulation numérique, qui est souvent proposée aujourd'hui, est extraordinaire en termes de possibilités, ... y compris le pilotage à distance de chez soi via Internet ! Reste à savoir si un directeur d'école a réellement envie de piloter le chauffage de son école le dimanche après-midi ?

Cette technologie présente cependant trois défauts majeurs :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- une lisibilité quasi nulle pour une personne extérieure non spécialisée (effet de «boîte noire»);
- un coût élevé si la direction de l'école fait appel à une maintenance extérieure.

*A titre d'information, en Belgique: l'intervention d'un technicien d'une société de régulation est facturé 500 € d'office (forfait de 2 heures et déplacement), puis 175 € par heure supplémentaire.*

- une dilution des responsabilités en cas de mauvais fonctionnement : le chauffagiste s'en remet à la société de régulation pour l'installation du matériel, si bien qu'installateur et société de régulation se renvoient la balle en cas de difficulté, l'un accusant l'autre du défaut...

Dans la pratique quotidienne, si des problèmes de gestion persistent, la régulation va rapidement être débranchée... au profit d'un fonctionnement « manuel »... c'est-à-dire d'un fonctionnement continu énergivore !

Il ne s'agit pas non plus de rejeter en bloc cette technologie ... mais bien de l'utiliser à bon escient et de la réserver aux installations qui la justifient.

Il n'existe pas une solution idéale pour toutes les installations. Il existe différentes solutions, chacune adaptée à un profil d'installation et de compétence humaine spécifiques. En clair, la taille de l'école et la compétence technique des gestionnaires devront guider les choix de régulation.

A titre d'exemple, on peut citer trois profils différents :

- **La petite ou moyenne école (1 ou 2 bâtiments)** présentant une chaufferie équipée d'une ou deux chaudières avec quelques départs secondaires. Le responsable de l'installation n'est pas très spécialisé en chauffage, c'est le directeur de l'école ou le technicien polyvalent de l'école.

OBJECTIF : proposer la régulation la plus simple possible, compréhensible par un non-technicien, avec un mode d'emploi détaillé lui indiquant les procédures à suivre lors de la relance en septembre ou octobre, la veille d'un congé, etc...

- **Un grand établissement scolaire, avec plusieurs bâtiments, de multiples chaufferies, des circuits secondaires nombreux.** L'intervention lors de pannes génère des déplacements multiples. Une équipe technique de bon niveau pilote l'installation. Elle souhaite piloter l'installation à distance. Elle désire également être indépendante d'une marque de régulateurs et libre d'acheter du matériel produit par divers fabricants, afin d'assurer une saine concurrence..

OBJECTIF : faire piloter les installations à distance par une société de maintenance spécialisée. Le coût de ce suivi sera compensé par la forte diminution des consommations, via un contrat de performance énergétique à atteindre par la société de maintenance

- **L'installation de chauffage est importante et multiple, mais il n'existe pas de compétence technique spécialisée.**

Un choix entre deux objectifs est à réaliser :

- soit on se rapproche du profil 1, en simplifiant au maximum toutes les installations. Les régulations sont décentralisées, le matériel est standardisé, les schémas sont affichés, il n'y a pas de régulateur « boîte noire » qui coiffe tous les équipements, ... : chaque intervenant extérieur comprend très rapidement comment il peut intervenir sur l'installation.
- soit on se rapproche du profil 2, avec l'objectif de faire piloter les installations à distance par une société de maintenance spécialisée.

### → Réunir les acteurs du projet

Il est très important de bien se mettre d'accord avant la mise en place d'une régulation. Il est impératif d'imposer une réunion entre chauffagiste, bureau d'études et technicien de régulation. Il doit en découler un « descriptif de fonctionnement » écrit, à exiger avant la réalisation de la programmation.

Pour bien préparer cette réunion, la connaissance du réseau des conduites, et donc du découpage de l'école en zones, est nécessaire pour bien piloter le bâtiment et exprimer une attente claire au concepteur de la régulation. Un simple plan A4 sur lequel on hachure les zones hydrauliques différentes avec des couleurs différentes, et sur lesquels les horaires d'utilisation sont indiqués (salle de gym, réfectoire, ...) est un outil très opérationnel.

### 2.2.7. Améliorer l'entretien et la maintenance

La qualité de la maintenance peut influencer de façon importante l'efficacité énergétique d'une installation de chauffage : l'encrassement diminue l'échange de chaleur dans les chaudières, les équipements peuvent se dérégler...

Un bon maintien et entretien de l'installation de chauffage passe également par une prise de conscience des acteurs de l'école, directeur, enseignants et élèves sur le fonctionnement du système de chauffage.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Les mesures à prendre sont les suivantes :

### → Entretien régulier de la chaudière

L'entretien des chaudières est, dans de nombreux pays, une obligation légale. Selon le vecteur énergétique utilisé, l'entretien se fera tous les ans, tous les deux ans ou tous les trois ans. L'entretien des chaudières passe par plusieurs mesures :

- Nettoyage de la chaudière
- Réglage de la combustion (pour les chaudières à brûleur pulsé fuel ou gaz)

### → Contrôle régulier des paramètres de régulation

Dans le cas de bâtiments scolaires, il n'est pas rare de rencontrer des installations fonctionnant 24h sur 24 parce qu'elles ont exceptionnellement été mises en dérogation un jour et que personne ne s'est soucié de rétablir le mode «automatique». Ou encore des cas de chaudières fonctionnant en décalage car les horloges de régulation n'ont pas pris en compte les changements d'heures annuels.

Ces éléments peuvent être à l'origine d'une surconsommation importante.

*Exemple*

*Supprimer l'intermittence du chauffage peut provoquer une augmentation de 10 .. 25 % de la consommation.*

Il est donc important de vérifier régulièrement le réglage correct des paramètres de la régulation pour éviter toute dérive. Notons que ces dernières sont repérables lorsque l'établissement scolaire tient une comptabilité énergétique précise pour son bâtiment.

### → Contrôler le vase d'expansion et supprimer les fuites

L'ajout régulier d'eau dans l'installation de chauffage est synonyme de dégradation rapide de l'échangeur de la chaudière, des conduites, ..., par corrosion, bouchage de conduite, et production de boue.

De plus l'entartrage de la chaudière diminue l'échange de chaleur, augmente les points chauds avec comme conséquence une surconsommation.

Il est impératif de surveiller les fuites, de contrôler l'appoint d'eau (placer un compteur: pas plus d'un litre/kW installé par an) et l'état du vase d'expansion.

### → Contrôle de l'eau

Dans un souci de pérennité de l'installation, il est également très utile de faire analyser, une fois par an, la qualité de l'eau d'une installation de chauffage par un laboratoire spécialisé : contrôle de l'acidité, de la dureté, de la conductivité.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.3. Optimiser la production d'eau chaude sanitaire à l'école



Une rénovation de bâtiments scolaires soucieuse de l'environnement cherche au niveau de l'optimisation de la production d'eau chaude sanitaire :

- à limiter les besoins en énergie et en eau ;
- à répondre aux besoins avec le meilleur rendement et un minimum d'impact sur l'environnement.

La première économie en matière d'eau chaude sanitaire est d'en limiter la consommation; ce qui revient à additionner l'économie d'eau potable à l'économie d'énergie.

La consommation d'eau chaude sanitaire sera réduite notamment par la position des points de puisage par rapport à la production, par la prévention des fuites et par un choix adapté des appareils et points de puisage. Ces différents aspects visant à limiter la consommation en eau potable sont décrits en détail dans le chapitre 3 «Réduire la consommation en eau potable»

**Les besoins en eau chaude d'une école traditionnelle ne sont cependant pas importants. Seuls un internat, une cuisine de grande dimension et de grandes infrastructures sportives (s'il y a présence de douches dans les vestiaires) nécessitent de l'eau chaude. Il est donc important d'envisager la rénovation du réseau d'eau chaude sanitaire de manière :**

#### → Séparée du réseau de chauffage

Les besoins de chauffage des bâtiments sont de plus en plus souvent couverts par des émetteurs à basse température, avec de l'eau préparée par une chaudière à condensation gaz performante. La production d'eau chaude à haute température perturbe cette évolution et doit donc être idéalement séparée du réseau de chauffage. Si les besoins en eau chaude sont élevés, on étudiera donc l'intérêt d'assurer une production de l'eau chaude par une chaudière indépendante.

#### → Décentralisée et à proximité des points de puisage

Cette décentralisation est possible dans le cas de production d'eau chaude par installation au gaz ou à l'électricité.

Si le gaz est disponible et vu les nouvelles contraintes liées à la légionelle (maintien à haute température), on décentralisera au maximum la production : produire près du lieu de puisage, avec des préparateurs instantanés étanches (encore appelés appareils «ventouses»). Autant faire circuler la conduite de gaz dans le bâtiment que la conduite d'eau chaude.

Si les besoins sont élevés, ou si le gaz n'est pas disponible, une installation semi-instantanée paraît optimale : un échangeur instantané pour produire au moment de la demande, avec le renfort d'un petit ballon de stockage pour stabiliser la température de l'eau durant la première minute de puisage.

Dans la plupart des cas de rénovation, cela revient également à concevoir de nouveaux réseaux d'eau chaude.

Pour ces différentes raisons, nous n'aborderons pas davantage cette thématique dans la présente publication.

Néanmoins, nous proposons quelques ouvrages de référence :

- le site internet **Energie Plus**: <http://www.energieplus-lesite.be>
- **Construction and energy, architecture and sustainable development**, Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark and Martin Zeumer, in the series Atlas de la Construction, Presses Polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2011
- **Energiezorg in scholen**, Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming, which can be downloaded from the website: <http://www.ond.vlaanderen.be/energie/pdf/energiezorg.pdf>
- **Verwarming in scholen**, Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming, which can be downloaded from the website: <http://www.ond.vlaanderen.be/energie/pdf/energiezorg.pdf>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Remarque

La consommation d'énergie annuelle pour la production d'eau chaude sanitaire peut être réduite par le placement d'une installation solaire thermique.

Cette alternative peut être étudiée – pour les pays d'Europe du Sud - lors de la rénovation de bâtiments scolaires ayant un besoin d'eau chaude important (infrastructures sportives importantes, présence d'une piscine, présence d'un internat...) car elle permet à la fois des économies de combustibles fossiles et des économies de CO<sub>2</sub> émis (de 150 à 400kg de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> de capteur).

Cependant, dans de nombreux cas de rénovation de bâtiments scolaires – Europe du Nord et Europe Centrale - , une installation solaire thermique ne sera pas rentable car les apports solaires sont les plus importantes durant les mois d'été, mois où les écoles ne sont pas en fonctionnement. On privilégiera davantage le solaire photovoltaïque (voir point 2.9).

Il est également possible de produire de l'eau chaude sanitaire au moyen d'une pompe à chaleur. Différentes technologies sont possibles. De la chaleur «gratuite» sera extraite d'une source (air extérieur, nappe phréatique, ...) et sera communiquée au ballon d'eau chaude.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.4. Production de chauffage par pompe à chaleur



Le chauffage par pompe à chaleur devient une solution intéressante lorsque les bâtiments sont rénovés avec l'objectif de se rapprocher des standards « basse énergie » ou « passivhaus ».

En effet, dans ce type de rénovation, les besoins de chaleur sont fortement réduits et la température d'eau de chauffage peut rester basse (aux alentours de 35°C); ce qui convient parfaitement à une pompe à chaleur pour travailler avec une efficacité énergétique intéressante.

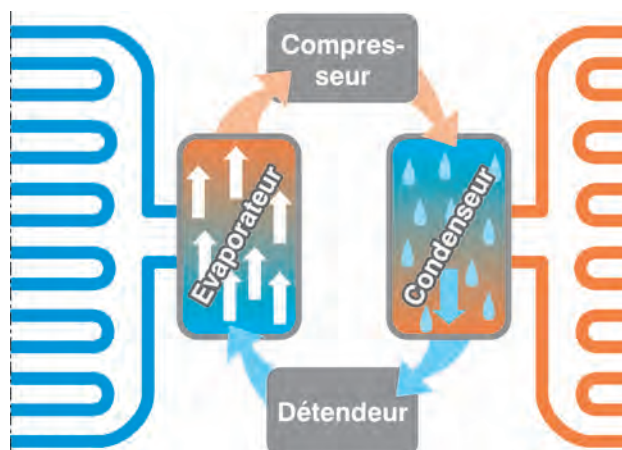
Cependant, en rénovation et en partant du principe que l'implantation d'une pompe à chaleur ne peut se justifier que pour des efficacités énergétiques élevées, le choix de la source froide sera déterminant en termes de coût d'investissement.

*En Europe, le marché des PAC suit une croissance continue. Les régions phares sont la Suède (333 000 unités en 2000), l'Allemagne (63 000 unités), la Suisse (61 000 unités) et l'Autriche (33 000 unités). La part de marché de la PAC en construction neuve atteint 95 % en Suède. L'origine hydraulique de l'électricité n'y est sans doute pas pour rien... Source : Energie plus*

#### 2.4.1. Principes

Le principe de fonctionnement d'une PAC consiste à prélever de la chaleur d'une source froide c.à.d. une source du milieu extérieur (le sol, l'air extérieur, l'eau, les nappes phréatiques...), d'augmenter son niveau de température avant de l'injecter dans une source chaude (circuit d'eau ou d'air pour le chauffage et/ou circuit d'eau chaude sanitaire d'un bâtiment). Une pompe à chaleur est un circuit frigorifique toujours composé de 4 éléments :

- **L'évaporateur** : le fluide frigorigène s'évapore en prélevant de l'énergie à la source froide (terre, eau, air extérieur...);
- **Le compresseur** : il fait augmenter la pression et la température du fluide frigorigène à l'état gazeux. Cette opération consomme de l'électricité;
- **Le condenseur** : au contact de la source chaude, le fluide frigorigène se condense en transmettant de la chaleur au fluide secondaire (circuit d'eau ou d'air, circuit d'eau chaude sanitaire...)
- **Le détendeur** : réduit la pression du fluide frigorigène à l'état liquide



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Remarque sur le fluide frigorigène

Les fluides frigorigènes sont pour la plupart nocifs pour l'environnement. Ceux qui détruisent la couche d'ozone sont interdits (R22 notamment) et remplacés par des fluides comme les HFC. Cependant ces fluides restent de puissants gaz à effet de serre.

En fin de vie, la pompe à chaleur doit obligatoirement être démontée par un spécialiste qui récupère le fluide frigorigène pour le recycler ou le détruire.

Pour faire fonctionner la «pompe», une source d'énergie est nécessaire : l'électricité ou le gaz naturel.

La plupart du temps les pompes à chaleur fonctionnent à l'électricité. La production d'électricité peut-être polluante (émission de gaz à effet de serre dans les centrales électriques thermiques, déchets radioactifs dans les centrales nucléaires). Cependant l'usage qui en est fait par une pompe à chaleur est plus rationnel.

L'efficacité des pompes à chaleur est exprimée par leur coefficient de performance [COP]. Le coefficient de performance énergétique COP est la différence entre la quantité de chaleur produite et l'énergie électrique consommée. Il traduit la performance d'une pompe à chaleur en mode chauffage.

*Exemple: Si une PAC consomme 1kWh d'électricité et restitue 3kWh de chaleur, on dit que son COP est de 3*

Selon la technologie, la source renouvelable ou les usages de la chaleur, le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur est plus ou moins élevé. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

La pompe sera d'autant plus efficace que la différence de température entre la source froide et la source chaude est faible ou peu importante.

### Remarque sur le coefficient de performance

Les tests et les informations des fabricants fournissent cette valeur sous certaines conditions ( $\Delta T^\circ$  entre la source chaude et la source froide). Ce coefficient tient compte de la consommation électrique du compresseur mais aussi des consommations des auxiliaires (ventilateurs, circulateurs, appoint éventuel).

Cependant, seule la valeur du coefficient de performance annuelle (COPA ou SPF) permet de juger réellement de l'efficacité réelle du système et peu d'information fiable est disponible. La performance annuelle dépend des conditions météo, du profil de la demande de chaleur et des caractéristiques de l'installation.

### 2.4.2. Les différents systèmes

Il existe différents types de pompes à chaleur suivant la source froide, la source chaude et le type de fonctionnement (circuits de fluides).

#### 2.4.2.1. La source froide ou capteurs de calories

Le niveau de température de la source froide doit être le plus haut possible. La température et la puissance spécifique de la source froide (et sa constance au cours de l'année) seront conditionnées par la localisation géographique, l'espace disponible et son accessibilité ainsi que la nature du sol ou du sous-sol.

Les différentes sources froides sont :

#### → L'air extérieur :

Captage aéraulique dans l'air extérieur, l'air vicié à la sortie de l'échangeur d'un système de ventilation et /ou l'air d'un local en dehors du volume protégé (isolé).

Les pompes à chaleur aérothermiques récupèrent les calories de l'air ambiant. Leur mise en œuvre est aisée et elles s'adaptent à de nombreuses situations. L'air est une source de chaleur facilement exploitable, sans capteur à installer. Cependant la température de l'air extérieur varie beaucoup au long de l'année, ce qui a pour conséquence de faire aussi varier les performances de ce type de pompe à chaleur. De plus ce système est plus encombrant et génère plus de bruit. Ce type de source froide sera plutôt envisagé en milieu urbain (température extérieure légèrement plus élevée, accessibilité du sol réduite)

#### Prélèvement de l'air extérieur

La pompe à chaleur est installée à l'intérieur ou à l'extérieur du local ou du bâtiment et prélève la chaleur de l'air extérieur. Lorsqu'il fait froid, l'évaporateur, au contact de l'air extérieur peut givrer, ce qui a pour conséquence de diminuer son

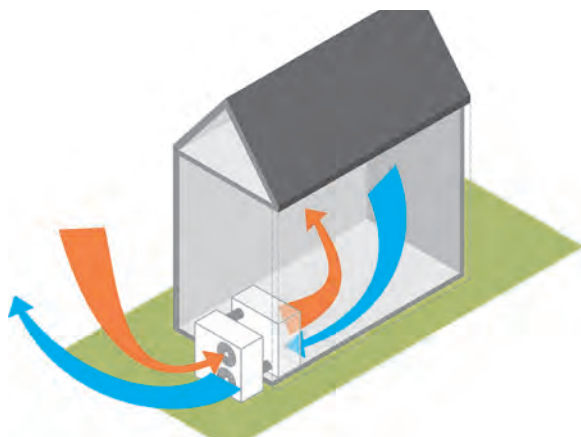
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



efficacité. Ce type de pompe à chaleur est donc équipé d'une régulation qui inverse périodiquement et pour un court moment son fonctionnement, ce qui assure le dégivrage de l'évaporateur. Ce type de pompe à chaleur peut être réversible et assurer le rafraîchissement du logement en été.

Les PAC sur air extérieur montrent beaucoup d'inconvénients, comme par exemple : la température qui évolue en sens inverse de celle du système de chauffage, le risque de givre à l'évaporateur qui apparaît pour une température extérieure de 6 ou 7°, le bruit qu'elles génèrent, l'encombrement, ... De plus, il sera en général nécessaire de l'associer avec une chaudière (système bivalent).



### Prélèvement de l'air intérieur

Ce type de pompe à chaleur, également appelée VMC double flux thermodynamique, permet de coupler une ventilation mécanique double flux et une pompe à chaleur. Elle assure à la fois le renouvellement d'air du bâtiment et son préchauffage: la pompe à chaleur récupère la chaleur de l'air extrait dans les pièces humides (sanitaires, réfectoire et cuisine) et préchauffe l'air neuf qui est pulsé dans les locaux scolaires. Ce dispositif est réversible.

#### → Le sol extérieur :

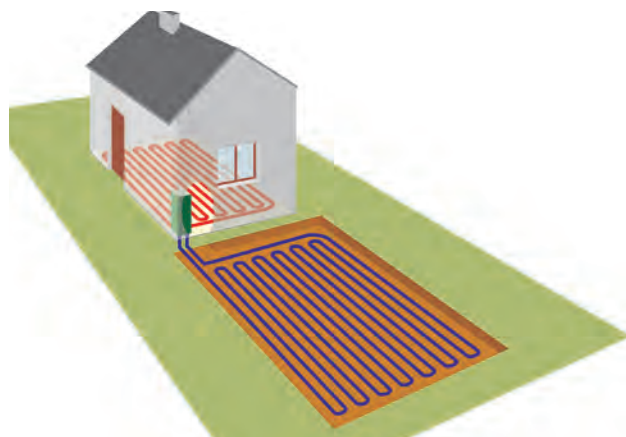
Captage géothermique dans le sol (espace vert, cour de récréation, espaces libres autour des bâtiments) par un échangeur horizontal ou vertical.

#### Capteurs horizontaux dans le sol

Les capteurs horizontaux sont des tubes de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène. Ils sont installés en boucle enterrées horizontalement à faible profondeur (entre 60 cm et 120cm). A cette profondeur, la chaleur du sous-sol est en grande partie due au rayonnement solaire. Dans ces boucles circule en circuit fermé de l'eau glycolée ou du fluide frigorigène (selon la technologie employée). Afin d'éviter un prélèvement trop important de la chaleur du sol et les risques de gel du sol et de la boucle, les boucles doivent être mises en œuvre avec un entraxe de minimum 40cm.

#### Capteurs verticaux dans le sol

Les capteurs verticaux sont constitués de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage et scellés dans celui-ci par du ciment. Dans la plupart des cas, on réalise plusieurs forages distants d'au moins 10 mètres les uns



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE

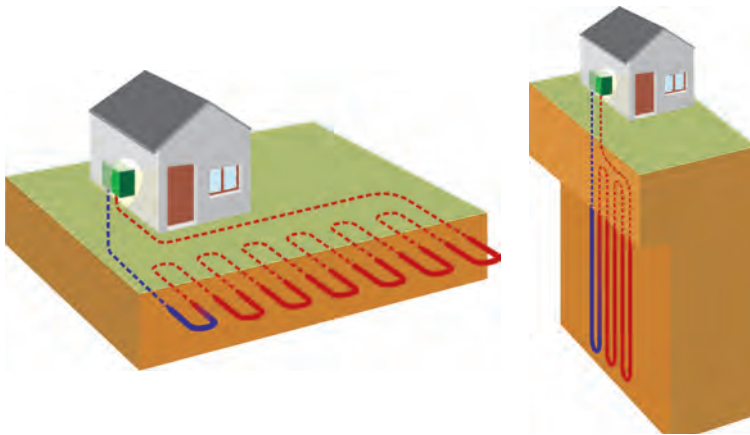


Image: Architecture et Climat

des autres. On fait circuler dans les tubes de l'eau additionnée d'antigel en circuit fermé. L'avantage de ce système est de profiter d'une source de chaleur à peu près constante tout au long de l'année. L'emprise au sol est faible par rapport aux capteurs horizontaux mais la réalisation d'un forage exige un minimum de place et une bonne accessibilité. De plus les coûts d'étude et de mise en œuvre de ce type de source froide restent importants.

L'inconvénient de cette source froide réside dans la grande surface de terrain nécessaire, ce qui n'est pas toujours applicable dans le cas de bâtiments scolaires implantés en zone urbaine dense.

En outre, les coûts de mise en œuvre risquent d'augmenter fortement vu la difficulté d'accéder facilement à l'espace vert ou la cours de récréation et la réfection obligatoire des espaces extérieurs utilisés.

### → L'eau

Captage dans une nappe phréatique (plus ou moins profonde) ou dans les eaux de surface.

#### Capteurs verticaux dans la nappe aquifère

La nappe aquifère comme source froide est intéressante car la température de l'eau est stable tout au long de l'année et idéale pour obtenir de bons résultats. Cependant, ce système nécessite un ou deux forages qui doivent être réalisés par des professionnels et sous autorisation spécifique. Il existe deux systèmes : un système à un seul forage et un système à deux forages (voir schémas). La mise en œuvre est coûteuse et nécessite de prendre beaucoup de précautions au niveau du choix du type de nappe (nappe plutôt perméable), de la qualité de l'eau, des débits possibles que l'on peut extraire et des rejets.

#### Capteurs verticaux dans les eaux de surface

Les eaux de surface comme source froide donne de moins bons résultats car les températures sont fluctuantes. Deux configurations sont envisageables:

- utilisation directe en noyant l'évaporateur dans le lit de la rivière;
- utilisation indirecte via un échangeur absorbant les calories d'un puits filtrant creusé à proximité de la rivière.

La prise directe des calories dans le lit de la rivière est sujette à un encrassement important de l'évaporateur, dépend du débit fluctuant de la rivière et coûte cher au niveau de la mise en œuvre et de l'entretien. La prise indirecte, quant à elle,

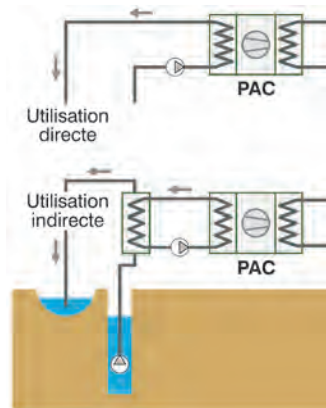
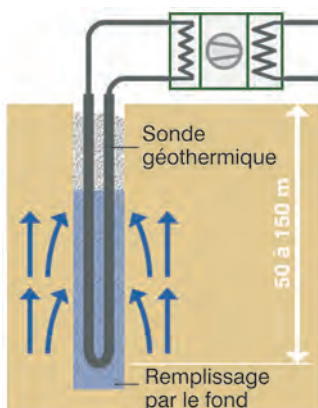


Image © www.viessmann.be

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



diminue la performance du système.

### → Comparatif

L'efficacité énergétique instantanée d'une pompe à chaleur peut être évaluée et est, entre autres, fonction de la valeur de la température de la source froide et de sa stabilité au cours de la saison de chauffe. Dans l'ordre d'efficacité, on retrouve les rejets thermiques, la nappe phréatique, les eaux de surface, la chaleur du sous-sol et l'air extérieur.

Source froide	Caractéristiques	Coût d'installation.	COP selon la norme EN14511	Conditions d'installation	Remarque
<b>Eau de nappe phréatique</b>	Faible variation de température (+6° à +10°)	ELEVE	5 à 6 (W10 à W35)	Besoin d'eau souterraine de qualité et en suffisance. Restrictions légales locales.	Des puits existants peuvent réduire les coûts. Coût d'entretien faible. Dimensionnement très rigoureux. Plus difficile à installer en rénovation.
<b>Eau de surface</b>	Faible variation de température	VARIABLE en fonction de la proximité de la source froide	5 à 6 (W10 à W35)	Proximité d'eau en quantité adéquate nécessaire. Système de protection contre le gel. L'évaporateur sera conçu en fonction de la qualité de l'eau.	Passage par un circuit d'eau intermédiaire dans le cas de capteurs dynamiques. Encrassage possible.
<b>Sol (eau glycolée)</b>	Faibles variations de température (plus fortes si usage de serpentins à faible profondeur). Connaissance des propriétés thermiques du sol requise.	MOYEN A ELEVE	4 à 5 (B0 à W35)	Besoin de surface si échangeur de chaleur horizontal et d'une solution antigel.	Échangeurs verticaux ou horizontaux Les conditions de sol et de surface influencent la conception. Coûts d'entretien faibles. Dimensionnement très rigoureux.
<b>Air extérieur</b>	Wide range of temperature variation (0°C to +15°C)	BAS	3 à 4 (A2 à W35)	Système universel, source disponible en grande quantité	Dégivrage et parfois chauffage auxiliaire nécessaires.

Source: site Energie Plus - [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)

### 2.4.2.2. La source chaude ou les émetteurs de chaleur

Les sources chaudes peuvent être le sol, l'air ou l'eau. La redistribution de température doit se faire à la température la plus basse possible (maximum 50 °C) de façon à ce que la PAC soit plus efficace. On peut effectuer cette redistribution soit par un chauffage à air pulsé, un chauffage par le sol ou par les murs, un chauffage à ventilo-convecteurs ou encore un chauffage par radiateurs. Cela implique que les émetteurs doivent travailler à basse température.

Suivant la source chaude utilisée, plusieurs types d'installations peuvent être envisagés.

*Exemple : cas où l'air est choisi comme source chaude :*

#### **Installation compacte intérieure.**

*Dans ce cas, il y a une conduite d'amenée et de rejet d'air extérieur vers l'évaporateur qui se trouve à l'intérieur du bâtiment. La PAC est installée près d'un mur extérieur. La traversée des conduites dans le mur est isolée et protégée contre la pluie.*

#### **Installation compacte extérieure.**

*La PAC est reliée au réseau de distribution d'air par des conduites isolées. Cette solution est coûteuse à cause du transfert des sources chaude ou froide.*



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Système mono-split

Ce système, d'une grande souplesse d'installation, permet de chauffer une seule pièce du bâtiment. Une ou deux unités intérieures (dans la même pièce) sont reliées à une unité extérieure unique qui traite l'air. L'évaporateur se trouve ainsi à l'extérieur et le condenseur à l'intérieur du bâtiment, ce qui permet à l'évaporateur d'être bien alimenté en air extérieur. Le fluide frigorigène doit passer à travers la paroi du bâtiment dans des conduites calorifugées et l'air chaud est distribué via des gaines de différents diamètres en fonction des débits et des pressions demandés. La quantité de fluide frigorigène présente dans ce système est supérieure aux deux systèmes précédents.

### Système multi-split

Plusieurs pièces peuvent être chauffées, à l'aide d'un ou deux ventilo-convecteurs dans chacune d'entre elles. Il y a donc plusieurs condenseurs, mais toujours un unique évaporateur extérieur.

En rénovation, il n'est pas toujours aisé ou nécessaire de remplacer l'ensemble de l'installation de chauffage et régulièrement les émetteurs existant (principalement des radiateurs) sont conservés. Dans le cas d'une rénovation de bâtiments scolaires où :

#### → Les émetteurs sont des radiateurs classiques

La diminution du régime de température d'émission (on passe d'un régime 80/60°C à un régime de 35/45°C) devrait réduire la puissance d'émission de l'ordre de 60 %. Cette puissance est théoriquement suffisante lorsque l'enveloppe des bâtiments atteint la performance « basse consommation d'énergie » ou « passivhaus »

#### → Installation of mechanical heat recovery ventilation is envisaged

On considérera le placement d'une PAC air/air où la source froide est l'air extrait et la source chaude est l'air neuf extérieur.

### 2.4.2.3. Les types de circuits

En ce qui concerne le circuit des fluides, il existe plusieurs types de fonctionnement :

#### → Un fonctionnement en « détente directe »

La pompe à chaleur fonctionne avec un seul circuit. Le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs. Ce système utilise beaucoup de fluide frigorigène.

#### → Un fonctionnement mixte

La pompe à chaleur fonctionne avec deux circuits. Le fluide frigorigène passe dans les capteurs et dans la pompe à chaleur. L'énergie est ensuite transmise à un circuit d'eau chaude.

#### → Un fonctionnement avec des fluides intermédiaires

La pompe à chaleur fonctionne avec trois circuits: le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau glycolée / saumure et le circuit d'eau chaude des émetteurs. Le fluide frigorigène circule dans la pompe à chaleur. Il capte l'énergie au contact d'un circuit d'eau glycolée / saumure qui circule dans la source froide et la transmet à un circuit d'eau chaude.

Source froide	Fonctionnement en détente directe 1 circuit	Fonctionnement mixte 2 circuits	Fonctionnement avec fluides intermédiaires 3 circuits
AIR	PAC air-air	PAC air-eau	/
SOL EXTERIEUR	PAC sol-sol	PAC sol-eau	PAC eau glycol-eau PAC saumure-eau
EAU	/	/	PAC eau-eau

### 2.4.2.4. Modes d'exploitation

La pompe à chaleur peut être dimensionnée en fonction de deux modes d'exploitation :

#### → Mode monovalent

La pompe à chaleur est le seul système de production de chaleur. C'est la solution la plus économique au niveau de

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



l'investissement. Cependant quand la puissance nécessaire est importante, le rendement de ce type de pompe diminue.

### → Mode bivalent

La pompe à chaleur produit l'essentiel de la production de chaleur mais elle est couplée à un autre système de production qui sert d'appoint. Ces appoints peuvent être une chaudière à condensation, une résistance électrique directe ou des panneaux solaires (pour la production d'eau chaude sanitaire). Les systèmes bivalents peuvent être alternatifs : en période très froide seule la chaudière fonctionne (ce qui nécessite de la dimensionner pour - 10 °C par exemple) et de 3 à 12 °C, c'est la pompe à chaleur qui reprend le relais. Ils peuvent être encore parallèles : tout au long de la période de chauffe, la PAC donne la puissance de base et seulement en période très froide, la chaudière vient donner le surplus en parallèle. Dans ce dernier système, le bilan économique et écologique est intéressant.

### 2.4.2.5. Réversibilité des pompes à chaleur

Le fonctionnement de certaines pompes à chaleur peut s'inverser pour capter la chaleur du bâtiment ou des différents locaux et la rejeter dans le sol, l'air ou l'eau : en inversant le cycle du fluide frigorigène, la pompe à chaleur puise les calories des différents locaux scolaires et les transfère à l'extérieur.

Ce système fournit une baisse modérée de la température, d'environ 3 à 4 ° par rapport à l'extérieur. La pompe à chaleur peut donc être considérée un système de rafraîchissement plutôt que de la climatisation. L'installation d'un système réversible encourage cependant la consommation de l'énergie électrique toute l'année, pour un confort limité dans l'été, alors qu'une pompe à chaleur utilisée exclusivement pour le chauffage ne consomme de l'énergie que durant la saison froide.

Pour le rafraîchissement des locaux scolaires, on privilégiera toujours un refroidissement passif.

### 2.4.3. L'installation en rénovation

L'installation d'une pompe à chaleur engendre une série de questions :

#### → Quel type de pompe utiliser?

Le type de pompe qui pourra être installée dépendra d'une part de la performance de l'enveloppe, des besoins de chauffage mais aussi et surtout de l'implantation de l'école, du type de terrain et de la surface disponible autour des bâtiments scolaires.

#### → A quel endroit installer la pompe à chaleur?

De façon générale, l'unité principale d'une pompe à chaleur se trouve à l'intérieur du bâtiment à chauffer.

#### **Dans le cas d'une PAC à l'intérieur du bâtiment**

Lorsque la pompe à chaleur est implantée à l'intérieur du bâtiment, surtout dans le cas de bâtiments scolaires, il y a lieu de considérer cette implantation du point de vue acoustique :

- La PAC doit être placée dans un local suffisamment éloigné des locaux de classe ;
- La PAC sera posée sur des plots anti vibrations (dans le cas où la PAC est bruyante), eux-mêmes placés sur une plateforme stable en béton ou en fer. Les parois du local doivent également atténuer la propagation des nuisances sonores de la pompe à chaleur.

Si la PAC véhicule de l'air dans des conduites, l'air doit avoir une vitesse de maximum 4 m/s (circuits principaux). Dans les conduits secondaires, l'air doit avoir une vitesse de maximum 3 m/s. Ces conduits doivent être construits dans des matériaux absorbants et les grilles de prise et de rejet d'air doivent être équipées de grillage antivoltiles.

Si la PAC est à eau, les conduites seront fixées aux parois avec des supports de façon à éviter la transmission des vibrations au bâtiment. Il faudra utiliser des flexibles pour toutes les liaisons à la PAC.

#### **Dans le cas d'une PAC à l'extérieur du bâtiment**

Il est important de considérer les nuisances sonores éventuelles pour les voisins proches sachant qu'il n'existe pas de distance minimale entre une unité extérieure de PAC et le voisinage.

De manière générale, on choisira une PAC peu bruyante. Si c'est nécessaire, on installera des écrans acoustiques tels que des parois ou bien des arbres à feuilles permanentes.

On sera également attentif à ne pas mettre la PAC en contact direct avec des espaces extérieurs utilisés par les enfants (cours de récréation, espaces verts).

#### → Quel type de circuits – direct ou indirect ?

L'utilisation directe de la source froide (eau de surface, nappe phréatique, rejets gazeux,...) a le grand avantage d'améliorer

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



rer l'échange avec la source de chaleur et donc d'offrir un meilleur coefficient de performance. Cependant il faudra éviter la pollution (fuites de fluide frigorigène), ainsi que l'encrassement, l'érosion et la corrosion dans l'évaporateur en prenant les mesures suivantes :

- désensablage du puits effectué par un spécialiste,
- pose d'un filtre dans la conduite de raccordement à la PAC,
- surveillance des vitesses de courant maximales et minimales pour éviter l'érosion, les dépôts, le gel et les dégâts dus aux vibrations dans les conduites de l'évaporateur,

A défaut, il est vivement conseillé de prévoir une utilisation indirecte avec circuit intermédiaire. De plus il faut penser que la température du circuit intermédiaire peut tomber à 0°C. Le bon choix d'un produit antigel est donc d'une importance capitale.

### → Quel type d'émetteur ?

Les pompes à chaleur ne peuvent correctement fonctionner qu'à une température de chauffage maximum de 50°C. Il faut donc sélectionner un système de chauffage à basse température, qu'il soit à air ou à eau.

Dans le cas d'une rénovation de bâtiments scolaires, les émetteurs existants de type « radiateurs » pourront être conservés.

### → Quel type de fonctionnement ?

Une PAC utilisée seule comme moyen de chauffage (système monovalent) est naturellement la solution la plus économique au niveau de l'investissement. Pour les puissances utiles de chauffe plus importantes par rapport à la puissance disponible au niveau de la source froide ou pour des températures de fonctionnement de l'ordre de 50 °C, il est nécessaire de prévoir un système de chauffage d'appoint (système bivalent) tel qu'une chaudière ou des radiateurs électriques.

### → Quel type de fluide frigorigène ?

Les fluides frigorigènes ont un impact non négligeable sur l'environnement et doivent donc être choisis en toute connaissance de cause.

### → Quelle régulation ?

#### **Adaptation de la puissance**

Pour de petites pompes à chaleur, la régulation de puissance a lieu par mise en ou hors service.

Pour les plus grandes puissances, obtenues par combinaison de plusieurs unités de petites pompes à chaleur, la régulation a lieu par enclenchement-déclenchement de chaque unité.

Pour les installations travaillant par enclenchement-déclenchement, il faut éviter des démarrages trop fréquents, afin que le réseau électrique public ne soit pas surchargé et que la PAC ne subisse pas de dommages. Rappelons que ceci est réalisé au moyen d'un accumulateur technique (accumulateur tampon), auquel on ne peut renoncer que dans des cas exceptionnels.

#### **Paramètres de régulation**

Les régulateurs commandent la pompe à chaleur en fonction de la courbe de chauffe, après avoir obtenu les données du thermostat d'ambiance et la température de retour. Le thermostat est éventuellement doté de consignes «température de confort» et «température de nuit» réglables.

Différentes commandes de fonctionnement sont possibles et s'organisent avec un ordre de priorité précis.

Le dégivrage a toujours la priorité et s'effectue automatiquement si les sondes extérieures en indiquent le besoin. Viennent ensuite les alimentations de chauffage et d'ECS.

#### **Adaptation des paramètres en fonctionnement**

De nombreuses recherches menées en Suisse durant les premières années de fonctionnement ont montré que beaucoup d'installations ne travaillent pas du tout comme le concepteur du projet le souhaite, cette remarque est également valable pour des installations conventionnelles. Un contrôle des résultats pendant les premières années d'utilisation est donc conseillé pour s'assurer d'un bon fonctionnement de l'installation.

#### **Stabilité du réglage**

Les systèmes que l'on trouve pour la technique du bâtiment sont en général assez lents, ce qui permet une régulation stable et fiable. Certains circuits comprennent toutefois des parties où la vitesse de régulation est critique. C'est le cas de la température de départ du condenseur. Pour assurer une régulation rapide, diverses recommandations sont utiles : placer la vanne de régulation le plus près possible de la PAC pour réduire le temps mort, choisir une vanne de régulation à fermeture rapide, optimiser les paramètres de régulation de la vanne, utiliser des thermomètres de régulation à faible inertie.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.4.4. La production d'eau chaude sanitaire

La pompe à chaleur permet également de produire de l'eau chaude sanitaire. Ce système peut être indépendant ou couplé au système de production de chauffage.

Dans le cas de bâtiments scolaires, la demande en eau chaude n'étant pas importante, on préférera pour la production d'eau une petite installation décentralisée et proche des points de puisage (petite chaudière gaz ou boiler électrique).

### 2.4.5. Les avantages et désavantages des pompes à chaleur

#### 2.4.5.1. Les avantages

Les avantages de la pompe à chaleur sont les suivants :

- Technique sans stockage de combustible ;
- Technique ne nécessitant ni amenée d'air ni cheminée d'évacuation ;
- Technique dont les rejets sont plus ou moins limités (pollution) en fonction du COP annuel de l'installation

#### 2.4.5.2. Les désavantages

Les inconvénients de la pompe à chaleur sont les suivants :

- Pour garantir l'efficacité du système et un rendement suffisant, les émetteurs doivent être de grande taille ou surdimensionnés. On préconise souvent la pompe à chaleur à un chauffage par le sol ou par les parois. Ce type d'émetteurs, peu réactifs, conviennent lorsque les besoins en chaleur sont très stables. Ce qui n'est pas le cas dans les bâtiments scolaires (demande de chaleur importante le matin à la reprise puis demande variable en fonction des gains internes) ;
- Captage géothermique : ce type de captage nécessite une grande surface de pelouse pour un captage horizontal. Cette solution est difficilement applicable dans le cas de rénovation de bâtiments scolaires, à moins que l'école soit entourée de grands espaces verts. En outre les coûts d'investissement et de mise ne œuvre dans le cas d'une rénovation sont élevés, principalement pour un captage vertical ;
- Captage sur l'air extérieur : ce type de captage a un rendement moins bon que le captage géothermique ; il demande un encombrement important à l'extérieur du bâtiment (et doit être protégé dans le cas de bâtiment scolaires) et peut également engendrer des nuisances sonores importantes. Ce système nécessite dans certaines conditions (inversion du cycle) un dégivrage qui fait baisser son rendement ;
- Captage sur l'air vicié d'une ventilation double flux : ce type de captage présente souvent une faible puissance ;
- Captage hydraulique : ce type de captage peut être soumis à autorisation et peut dans certaines régions être interdit ;
- Suivant le type de PAC, sa puissance et la quantité de fluide frigorigène présente dans le circuit, l'installation d'une pompe à chaleur requiert ou non l'octroi de permis d'environnement ou d'urbanisme. Bien souvent, la PAC devra uniquement être «déclarée».

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.5. La production d'eau chaude par énergie solaire



La production de chaleur par capteurs solaires thermiques est une technologie particulièrement adaptée à la production d'eau chaude sanitaire.

Le rayonnement solaire est une source d'énergie non polluante, inépuisable et gratuite, d'où l'intérêt environnemental et économique évident de son utilisation.

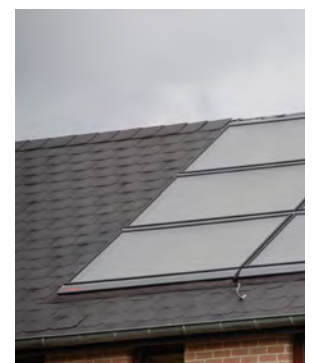
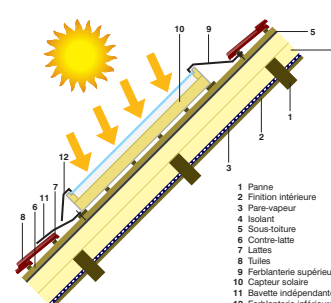
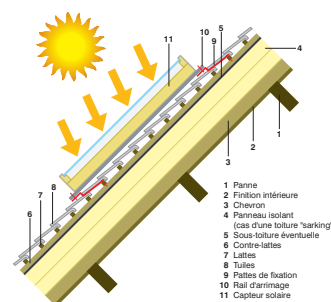
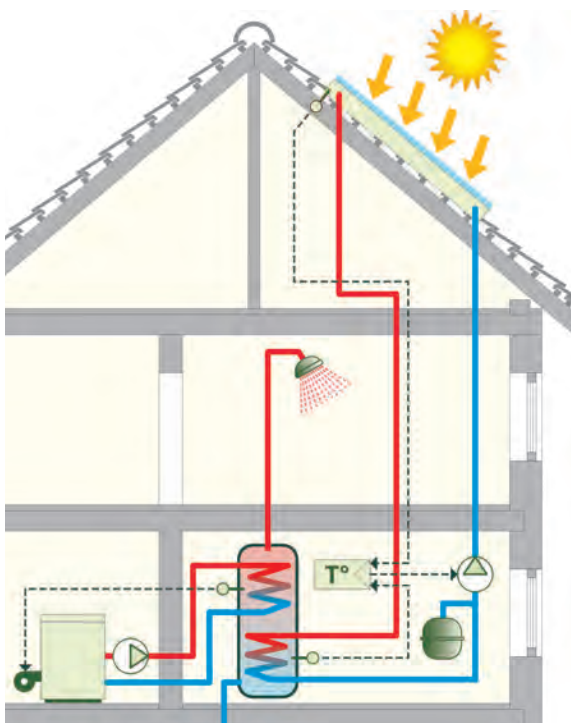
Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur (corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse). L'absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur (généralement de l'eau glycolée) circulant à travers chacun des capteurs.

La production d'eau chaude sanitaire par une installation solaire thermique ne sera pas abordée dans la présente publication et ce, pour les raisons suivantes :

- dans la plupart des cas, les bâtiments scolaires ont des besoins en eau chaude relativement faibles. Seuls les bâtiments scolaires ayant une cuisine, un internat, de grandes infrastructures sportives (avec douches dans les vestiaires) ou une piscine nécessitent de l'eau chaude.
- dans de nombreux cas de rénovation de bâtiments scolaires – Europe du Nord et Europe Centrale -, une installation solaire thermique ne sera pas rentable car les apports solaires sont les plus importantes durant les mois d'été, mois où les écoles ne sont pas en fonctionnement.

**Dans le cas de rénovation de bâtiments scolaires, si l'investissement financier le permet, on privilégiera davantage le solaire photovoltaïque (voir point 2.9).**

*L'installation de panneaux solaires thermiques est l'objet de la TASK 41 de l'AIE SHC Programme «Solar Energy and Architecture» -<http://task41.iea-shc.org>*



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.6. Optimiser l'éclairage artificiel du local de classe



La qualité de l'éclairage, qu'il soit naturel ou artificiel est un élément important à prendre en compte lors de la rénovation de bâtiments scolaires. La qualité de l'éclairage d'un local va de pair avec la qualité de l'environnement d'apprentissage et donc la qualité de l'apprentissage. La qualité d'éclairage permet également de limiter les consommations électriques. Une rénovation de bâtiments scolaires soucieuse à la fois de l'environnement, de la qualité de l'éclairage et du confort visuel cherchera à optimiser les installations d'éclairage artificiel en :

- limitant les besoins en éclairage artificiel par une utilisation maximale et une gestion de la lumière naturelle (voir chapitre A « Confort et Qualité de vie » ;
- répondant aux besoins d'éclairage artificiel avec une installation qui présente le meilleur rendement, qui offre un confort visuel accru et qui a un minimum d'impact sur l'environnement.

De ce fait l'optimisation des installations d'éclairage artificiel devra tenir compte d'une série d'exigences. Ces différentes exigences/notions ont été présentées dans le chapitre A « Confort et Qualité de vie » :

- un éclairement suffisant sur le plan de travail, sur le tableau et dans le local;
- un éclairement uniforme sur le plan de travail;
- l'absence d'éblouissement (direct ou indirect), de reflet, et d'ombre;
- un rendu des couleurs suffisant.

Du point de vue financier, l'éclairage artificiel est une part importante dans la facture d'électricité d'une école. Sans compromettre le confort visuel, on peut, en optimisant l'installation d'éclairage électrique, réduire fortement la consommation d'électricité (jusqu'à 70%). Le montant économisé sur les factures énergétiques pourrait alors être remis à profit au sein de l'école pour des apprentissages spécifiques, pour l'achat de nouveau matériel, pour l'organisation d'activités ou de sorties culturelles.

**La rénovation des installations d'éclairage dans les écoles fait également l'objet de la TASK 50 de l'AIE SHC Program «Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings » - [task50.iea-shc.org](http://task50.iea-shc.org). Cette tâche fera le point sur l'éclairage LED et son intégration dans les solutions de rénovation.**

#### 2.6.1. Notions de base

Avant de présenter des solutions pour un éclairage efficace dans les locaux de classe à rénover, il est nécessaire de donner quelques notions de base sur la lumière, l'éclairage, le confort visuel, les lampes et les luminaires.

Un système d'éclairage électrique se compose en effet d'une source de lumière (ou lampe), d'un luminaire et ses auxiliaires et d'un système de gestion ou contrôle.

##### 2.6.1.1. Caractéristiques de base du confort visuel

Ces caractéristiques sont décrites dans le chapitre 1 « Confort et Qualité de vie » - au point 1.4.2.2.

##### 2.6.1.2. Caractéristiques des sources lumineuses (lampes)

Chaque source lumineuse possède des spécificités propres : flux et rendement, température de couleur, durée de vie, efficacité énergétique... Certaines de ces caractéristiques sont indiquées ou reprises sur la lampe elle-même.

##### → Le flux lumineux et l'efficacité lumineuse

Le flux lumineux d'une source est défini par la quantité de lumière rayonnée par une source dans toutes les directions. Il s'exprime en lumen (lm). C'est d'une certaine manière la « puissance lumineuse » émise par une source lumineuse. Du flux lumineux, on peut déduire l'efficacité lumineuse ou rendement lumineux en divisant le flux lumineux par la puissance

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

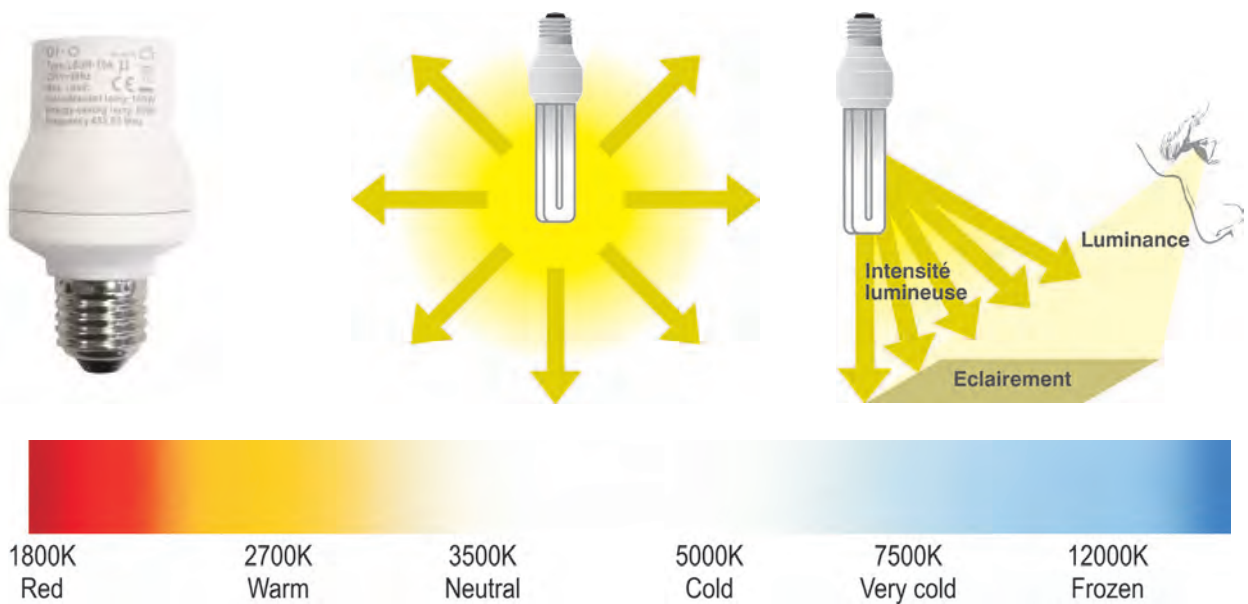
## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



(électrique) de la source. Son unité est donc le lm/W

### → La température de couleur

La lumière « blanche » peut avoir de nombreuses teintes: rose-blanc, blanc-jaune ou bleu-blanc. On associe généralement les teintes « rouges » au confort et aux couleurs chaudes et les teintes « bleues » aux couleurs froides. La température de couleur d'une lampe caractérise principalement la couleur et l'ambiance lumineuse donnée par la lampe. Elle s'exprime en Kelvin (K). On parle de couleurs froides lorsque la température de couleurs est élevée (supérieur à 5000K) et de couleurs chaudes lorsque cette température de couleur est inférieure à 3300 K.



### → L'indice de rendu de couleurs

L'indice de rendu des couleurs (Ra) est la manière dont une source va restituer les différentes longueurs d'onde du spectre visible c'est-à-dire avec quelle précision les couleurs d'un objet seront « rendues » en comparaison avec ses couleurs sous lumière naturelle. L'indice de rendu des couleurs s'établit sur une échelle allant de 0 (médiocre) à 100 (parfait) :

- Si la valeur est plus élevée que 80, on peut parler d'un rendu raisonnable des couleurs;
- Si on souhaite un rendu optimal des couleurs, on optera pour une valeur égale ou supérieure à 90

*Exemple:*

*La lumière du jour a un Ra de 100, une lampe incandescente (classique et halogène) a un Ra de 100 et une lampe fluorescente à un Ra allant de 60 à 90.*



Le rendu des couleurs - Image: © Verlichting in scholen», Vlaamse overheid

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Remarque:

Pour les écoles, on utilisera de préférence des lampes avec un indice de rendu de couleur supérieur à 80 et avec une température de couleur entre 2500 et 5000 K, de manière à se rapprocher de l'indice de rendu de couleurs de la lumière naturelle (100) et de favoriser une meilleure concentration. Pour les classes maternelles, on privilégiera une température de couleur aux alentours de 2500 K (lumière plus chaude) et pour les classes de primaires et secondaires une température de couleur aux alentours de 5000 K (lumière plus froide favorisant une meilleure concentration).

### → La durée de vie

Il existe plusieurs définitions de la durée de vie d'une lampe. Généralement, on parle de durée de vie moyenne d'un lot de lampe comme étant le nombre d'heures de fonctionnement de ces lampes avant que 50% d'entre elles soient hors service. La notion de hors service peut différer d'une région du monde à l'autre.

En Europe, une lampe est considérée hors service lorsqu'elle n'émet plus que 70% (85% pour les incandescentes) de son flux lumineux initial. Aux Etats-Unis, une lampe est considérée comme hors service lorsqu'elle ne fonctionne plus.

### → La classe énergétique des lampes

La classe énergétique de la lampe renseigne sa consommation d'électricité :

- Classes A et B : Ampoules basse consommation et tubes fluorescents;
- Classes B+C : Ampoules halogènes ECO (nouvelle génération);
- Classe D : Ampoules halogènes classiques;
- Classe E : Ampoules à incandescence standard;
- Classes F et G : Petites lampes à incandescence et modèles spéciaux.

### → Locaux de classe – types de lampe généralement utilisés

La plupart du temps, les lampes installées dans les locaux de classe sont des tubes fluorescents. Ceux-ci sont installés dans des luminaires à lamelles ou verre opalin, suspendus ou intégrés dans le plafond.



Image: Sylvie Rouche



Image: Sylvie Rouche



Image: Sylvie Rouche



Image: Sylvie Rouche



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.6.1.3. Caractéristiques des luminaires

#### → Le rendement

Le luminaire est, de par sa fonction, un frein à la diffusion de la lumière puisqu'il n'est pas capable de restituer totalement la lumière fournie par la source lumineuse, une partie du rayonnement lumineux étant absorbée par les éléments de celui-ci. Le rendement d'un luminaire est le rapport du flux lumineux émis par le luminaire par rapport au flux lumineux de la lampe.

#### → La distribution lumineuse

On peut retenir principalement 3 types de distribution (en éclairage direct) :

- **Extensive** où le faisceau lumineux du luminaire est large donnant un éclairage relativement uniforme ;
- **Intensive** avec un faisceau lumineux étroit donnant un éclairage d'accentuation ;
- **Asymétrique** pouvant être utilisée pour éclairer des surfaces verticales comme des murs ou des tableaux.



**Distribution extensive**



**Distribution intensive**



**Distribution asymétrique**

### 2.6.1.4. Types ou systèmes d'éclairage

En fonction des luminaires utilisés et de leur placement, on peut distinguer différents systèmes d'éclairages :

#### → Eclairage direct

La lumière est émise directement sur la surface à éclairer. Le rendement de ce type d'éclairage est très bon et donc les puissances installées seront faibles. Par contre, les risques d'éblouissement en utilisant ce système sont plus élevés et la répartition de la lumière dans le local peut être assez irrégulière.

#### → Eclairage indirect

L'éclairage indirect consiste à utiliser une surface de réflexion (le plus souvent le plafond) pour diffuser la lumière dans le local. L'avantage de ce système réside dans le faible risque d'éblouissement ainsi qu'une bonne répartition de la lumière dans le local. Le rendement de ce système est plus faible que pour un système direct et peut même être médiocre dans le cas de surfaces sombres.

#### → Combinaison direct / indirect

Pour ce système d'éclairage, on combine les deux systèmes précédents alliant ainsi leurs avantages et leurs inconvénients. Ce type d'éclairage sera principalement utilisé en présence de grandes hauteurs sous plafond afin de réduire les contrastes et de diminuer la sensation de « plafond sombre/noir ».

#### → L'éclairage à deux composantes

Pour ce système, deux luminaires sont utilisés : le premier assure un éclairage général direct ou indirect de faible éclairement (environ 300 lux sur le plan de travail) ; le deuxième assure l'appoint directement sur le plan de travail.

Ce système est énergétiquement le plus intéressant : il associe un faible niveau d'éclairement général et des luminaires ponctuels, en fonction des besoins.

L'éclairage ponctuel peut cependant générer des contrastes, des ombres marquées ainsi que des réflexions gênantes. On veillera donc à une bonne uniformité qui permet de limiter les effets néfastes des contrastes.

**Au niveau du local de classe, c'est l'éclairage direct qui est généralement recommandé pour des locaux ayant une hauteur sous plafond de moins de 4,5 mètres. Les luminaires les plus utilisés par ce type d'éclairage sont des luminaires encastrés (dans le cas de faux-plafonds), des luminaires de type « plafonnier » ou encore des luminaires**

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



suspendus. Dans le cas de locaux ayant une hauteur sous plafond plus importante, les luminaires suspendus sont souvent plus appropriés pour le confort visuel. On veillera alors à ne pas engendrer de zones d'ombres gênantes en optant pour des luminaires émettant directement et indirectement la lumière. Pour l'éclairage du tableau, on recommande un éclairage direct mais asymétrique.



Image: Coralie Cauwerts



Image: Coralie Cauwerts

### 2.6.2. Composition d'un système d'éclairage

Un système d'éclairage se compose de 3 éléments principaux:

- la source lumineuse ou la lampe ;
- le luminaire et ses auxiliaires
- le système de contrôle ou de gestion

Chaque élément a une influence sur la qualité de l'installation, sur le confort visuel et sur la consommation d'énergie. A chaque type de lampe correspond un type de luminaire et chaque luminaire contient les auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement de la lampe.

### 2.6.3. La source lumineuse ou la lampe

La source lumineuse ou la lampe est la base de l'appareil d'éclairage. Son rôle est de fournir la lumière nécessaire pour éclairer un local, un bureau, un tableau... On peut diviser les sources lumineuses en trois catégories principales en fonction du moyen utilisé pour fournir de la lumière: l'incandescence, la décharge, les diodes électroluminescentes (LED).

Cette section présente les différents types de lampes qui peuvent être installées dans les bâtiments scolaires, avec pour chacune d'elles, leurs avantages et leurs inconvénients.

#### 2.6.3.1. Les types de lampes installées dans les locaux de classe

La plupart du temps, les lampes installées dans les classes sont des tubes fluorescents. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau à la page suivante.



Images: website Energie Plus

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Type de lampe	Fonctionnement	Puissance disponible	Efficacité	T° et rendu de couleurs	Durée de vie
<b> Tubes fluorescents (Tubes T8 ; Tubes T5 qui doivent être obligatoirement utilisés avec un ballast électronique ; Tubes circulaires)</b>	<p>Les tubes fluorescents utilisent le principe de la décharge électrique dans un gaz pour créer de la lumière.</p> <p>Pour faire fonctionner ce tube, il est nécessaire d'utiliser un ballast et un starter qui ont comme rôle de limiter, contrôler et initier la décharge</p>	<p>Entre 14 et 58 W.</p> <p>La longueur des tubes varie en fonction de la puissance.</p> <p>Le flux lumineux des tubes varie entre 1300 et 5000 lm</p>	<p>Très bonne efficacité lumineuse. Celle-ci varie entre 60 et 105 lm/W.</p> <p>Classe énergétique est généralement A.</p>	<p>La température de couleur varie en fonction de la poudre utilisée dans le tube: de blanc chaud (2700K) à blanc froid (6700K).</p> <p>L'indice de rendu des couleurs n'est pas parfait mais reste néanmoins assez bon (Ra de 80 à 95)</p>	<p>La durée de vie d'un tube fluorescent dépend en partie du type de ballast et du type d'allumage; elle peut monter jusqu'à 20.000 h.</p>
<b> Les Lampes Fluocompactes – CFLs</b>	<p>Les lampes fluocompactes sont en réalité des mini tubes fluorescents recourbés et dont les dimensions ont été réduites afin de pouvoir les substituer aux lampes incandescentes.</p>	<p>La gamme de puissance est très large: de 3 à 23 W pour celles à ballast intégré et de 5 à plus de 80 W pour celles à ballast externe.</p> <p>Les flux lumineux varient de 100 à plus de 6000 lm.</p>	<p>Bonne efficacité lumineuse allant de 35 à 80 lm/W.</p> <p>Leur classe énergétique est généralement A et dans certains cas B.</p>	<p>La couleur peut varier entre le blanc chaud (2700K) et le blanc froid (6500K).</p> <p>Leur indice de rendu des couleurs est bon et compris entre 80 et 90</p>	<p>La durée de vie des lampes fluocompactes à ballast intégré est environ 8 fois supérieure à celle des lampes incandescentes (de 6.000 à 10.000 h).</p>
<b> Les LEDs (Light Emitting Diode)</b>	<p>La lumière est créée par les LEDs selon un troisième principe. Une LED est en réalité un semi-conducteur composé d'une jonction de deux matériaux dont l'un présente un excès d'électrons et l'autre un manque. Lorsqu'on le soumet la jonction à une différence de tension, les électrons en excès vont passer dans la zone en manque et s'y recombiner.</p> <p>Cette recombinaison va fournir un rayonnement dont la couleur dépendra des éléments.</p>	<p>Les puissances disponibles sur le marché vont de 0,007 W à 3 W.</p> <p>Leur flux lumineux varie de 1,5 lm à 200 lm.</p> <p>Il faut savoir aussi que leur flux lumineux varie fortement avec la température ambiante</p>	<p>Les LEDs disponibles sur le marché ont une efficacité de 20 à 30 lm/W (lumière blanche).</p> <p>Leur classe énergétique varie de D à B</p>	<p>La température de couleur des LED varie de chaude (2700K) à froide (6500K). Mais leur rendement est meilleur dans les couleurs froides.</p> <p>Leur rendu des couleurs varie de 50 à 80.</p>	<p>La durée de vie des LEDs peut être très variable en fonction de la température ambiante ainsi que de la tension appliquée.</p> <p>Celle-ci peut aller de 5.000 heures à plus de 100.000 h</p>

### 2.6.4. Les auxiliaires

Certaines lampes nécessitent l'usage d'auxiliaires afin de fonctionner correctement. Les auxiliaires, qui sont intégrés la plupart du temps dans le luminaire, peuvent se décomposer en deux catégories principales :

- **le starter et le ballast** sont utilisés pour les lampes à décharge. Les deux rôles fondamentaux de ce couple sont d'assurer l'allumage de la lampe ainsi que de limiter le courant dans le tube au cours de son utilisation afin d'empêcher sa destruction. Si le ballast est électrique, le starter est intégré dans le ballast.
- **le driver** est utilisé pour les lampes LEDs

Il existe différents types de ballasts mais ceux-ci doivent être choisis en fonction de leur adéquation avec le type et la puissance de la lampe avec laquelle il fonctionneront :

- Ballast électromagnétiques

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- Ballast électroniques avec préchauffage,
- Ballast électroniques sans préchauffage,
- Ballast électroniques gradable ou dimmable.

### → Ballasts pour lampes fluorescentes

On choisira un ballast électronique de qualité (minimum catégorie A3<sup>1</sup>) pratiquement dans tous les cas. On conçoit peu dans une nouvelle installation ou une rénovation de choisir des ballasts électromagnétiques. Si le local bénéficie d'une bonne lumière naturelle et qu'une gestion en fonction est possible, les ballasts électroniques dimmables génèrent des économies d'énergie de 30 à 50 % pour la rangée de luminaires proche des fenêtres et 15 à 30 % pour la rangée contiguë.

### → Ballasts pour lampes à décharge

Pour ce type de lampes, les ballasts électroniques sont mieux appropriés car ils augmentent la durée de vie des lampes (jusqu'à 30 % de plus), ils éliminent leur problème de clignotement et, pour autant qu'ils soient dimmables et que la lampe accepte le dimming, permettent de tenir compte de l'apport de lumière naturelle (jusqu'à 50 % du flux nominal).



#### Remarque:

Dans le cadre d'une rénovation de l'installation d'éclairage, on choisira de préférence:

- une solution de base: ballasts électroniques ordinaires;
- des solutions plus sophistiquées: ballasts électroniques réglables dans lequel la commande de l'éclairage peut être intégré qui tient compte de l'utilisation de la lumière du jour.

### → Driver pour lampe LED

L'équipement permettant l'alimentation de la LED est appelé couramment un «driver» de LED. L'alimentation s'effectue en courant continu dans le sens passant. La stabilité de l'alimentation de la LED dépend de la qualité du redresseur AC/DC et du filtre «lisseur» de tension. Suivant la qualité de ce dernier, la fluctuation du flux lumineux (papillotement) peut être source d'inconfort visuel. Jusqu'il y a peu, on sous-estimait l'importance de l'alimentation par rapport à la source LED. Pourtant, les exigences principales par rapport à une bonne alimentation sont sévères :

- la durée de vie du driver doit être au moins la même que celle de la LED.
- le rendement de conversion AC/DC de l'alimentation doit être supérieur à 85 % pour garantir une bonne efficacité énergétique (en lm/W) de l'ensemble LED/driver.
- le facteur de puissance ( $\cos \phi$ ) doit être le plus proche possible de 1 et la distorsion (harmoniques) la plus faible possible de manière à réduire les pertes.
- les perturbations électromagnétiques émises doivent être faibles.

### 2.6.5. Les types de luminaires et composants de ceux-ci

Un luminaire sert à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes. Il peut être composé de :

- l'armature qui permet l'assemblage des différents composants du luminaire (réflecteurs, vanelles, platine, diffuseur,...) et la fixation du luminaire au plafond ou au mur;
- le réflecteur qui réfléchit la lumière émise par la lampe et la dirige selon des directions préférentielles.
- les vanelles qui protègent l'œil des éblouissements en empêchant la vue directe de la lampe.
- le diffuseur ou protecteur qui remplace parfois les vanelles et protège la lampe de l'ambiance. On parle aussi de «vasque».

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



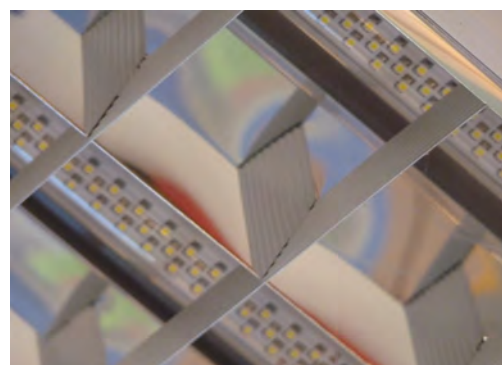
- la platine qui permet la fixation des auxiliaires électriques (ballasts, starters,...).

Le luminaire joue plusieurs rôles :

- il sert à diriger au mieux la lumière fournie par la lampe vers l'espace à éclairer ;
- il protège dans certains cas la lampe et les éventuels auxiliaires contre les influences externes (coups, eau, poussières, etc.) ;
- il a un rôle esthétique par sa forme et par la manière dont il va diriger la lumière dans la pièce.

### 2.6.6. Les types de contrôle et de gestion

*Un système de gestion de l'éclairage ne fonctionne que s'il est parfaitement accepté par les occupants. L'imagination de*



Remarque:

Dans le cadre d'une rénovation de l'installation d'éclairage, on choisira de préférence des luminaires permettant un éclairage direct, équipés d'un réflecteur en aluminium satiné ou brillant et dans lesquels la lampe n'est pas ou très peu visible par l'observateur ou l'occupant.

*ceux-ci est incroyable quand il s'agit de contrarier un système automatique ! Celui-ci doit donc être soit imperceptible, soit compris et accepté par les occupants. C'est d'autant plus vrai en rénovation puisqu'il y a un historique ou un vécu.*

On conseille souvent de ne pas pousser trop loin la recherche d'économies au détriment de la liberté des utilisateurs et de la simplicité du système. Les occupants doivent pouvoir allumer ou éteindre un luminaire, faire varier la puissance émise par un luminaire ou personnaliser l'ambiance en fonction du travail à effectuer.

Avec un système de contrôle, on peut réguler ou gérer l'installation d'éclairage d'une classe en fonction des besoins de l'occupant. Cette régulation peut se faire au niveau d'un local, d'un étage ou de tout un bâtiment.

Il existe différents systèmes de contrôle. Le choix s'effectuera en fonction du type de contrôle souhaité et du budget disponible.

De manière générale, il y a 4 systèmes de contrôle, ceux-ci pouvant être associés:

- Contrôle de l'éclairage en fonction de la disponibilité de la lumière du jour
- Contrôle de l'éclairage en fonction de l'occupation du local;
- Contrôle de l'éclairage par programmation horaire ;
- Contrôle de l'éclairage par zone.

#### 2.6.6.1. Principes de contrôle

##### → L'allumage / l'extinction

L'allumage/extinction est le moyen le plus facile de contrôler les lampes. Il s'agit simplement d'allumer ou d'éteindre (en contrôlant le circuit électrique) les lampes en fonction des besoins.

**Dans le cadre d'un bâtiment scolaire, il est nécessaire de conscientiser les élèves et les enseignants sur la nécessité énergétique et environnementale:**

- de ne pas utiliser l'éclairage artificiel général si l'éclairage naturel est suffisant.
- d'éteindre l'éclairage d'un local lorsqu'il n'est plus utilisé

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Cette conscientisation peut se faire au moyen d'affichettes placées à proximité de la porte d'entrée des différents locaux.

### → La gradation (dimming)

La gradation consiste à contrôler le flux lumineux de la lampe en fonction du besoin des utilisateurs. Cela s'effectue facilement pour les lampes incandescentes. Il suffit de diminuer la tension d'alimentation de ces lampes pour diminuer leur flux lumineux.

**Dans le cas des locaux de classe, le dimming peut être intéressant pour les locaux ayant une grande profondeur ou pour les locaux utilisant des systèmes de projections, des écrans d'ordinateurs ou des tableaux interactifs... Le dimming peut également être intéressant pour des locaux de classe situés dans le nord de l'Europe où l'éclairage naturel n'est pas toujours suffisant.**

**Dans les autres cas et principalement pour des écoles situées au sud et au centre de l'Europe, l'éclairage naturel, s'il est bien géré, est amplement suffisant pendant les périodes de cours. Le dimming n'est donc pas nécessaire.**

### → Le zonage

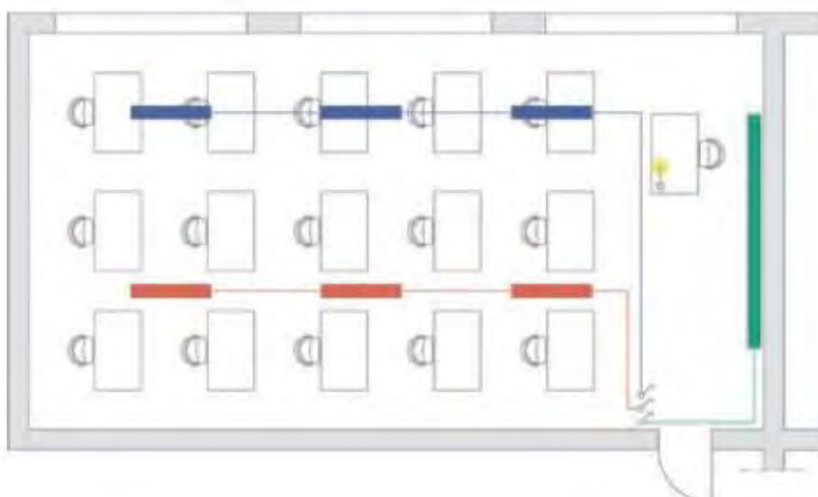
L'installation d'éclairage artificiel d'un local peut être découpée en zones : zone de luminaires à proximité des fenêtres, la zone du tableau, la zone de luminaires à proximité du couloir.

Le zonage est intéressant dans la mesure où il permet une certaine flexibilité d'usage : une partie du local n'est pas utilisée (cas d'un hall de sport ou d'un réfectoire), une partie du local reçoit un éclairage naturel suffisant et ne nécessite pas d'éclairage artificiel (cas d'un local de classe fort éclairé)

*Exemple:*

*La figure ci-avant présente une salle de classe à nouveau avec une division en zones en fonction de la lumière du jour. Les zones suivantes peuvent être utilisées indépendamment l'une de l'autre avec trois interrupteurs dans le voisinage de la porte d'accès:*

- La ligne de luminaires le long des fenêtres;
- La ligne de luminaires à proximité du couloir;
- Les appareils qui éclairent le tableau



Remarque:

Pour un contrôle optimal de la consommation énergétique d'un contrôle par zone, il est important que

- les acteurs de l'école, enseignants et enfants, aient été sensibilisés et aient acceptés ce mode de fonctionnement ;
- les interrupteurs soient correctement signalés et/ou marqués.

Idéalement, l'interrupteur faisant fonctionner la rangée de lampes près des fenêtres devrait être placé sur le mur de façade, de manière à n'utiliser ces lampes que lorsque cela est nécessaire.

### 2.6.6.2. Types de gestion

#### → La gestion en fonction de la lumière naturelle

Dans ce type de gestion, le flux lumineux d'un luminaire est contrôlé en fonction de la lumière du jour disponible. Ce type de gestion est intéressant dans le cas de locaux de classe ayant de grandes baies vitrées. Cette gestion peut être couplée à une gestion en fonction de la présence d'occupants. Des capteurs de luminosités peuvent être placés à différents endroits dans le local. Ils vont commander les lampes soit en régime ON/OFF, soit par gradation en fonction de la lumière naturelle.

**Dans le cas de locaux scolaires, le capteur au-dessus du plan de travail est la mesure la plus efficace. Dans le cas de locaux ayant de grandes baies vitrées, c'est le flux lumineux de la rangée de luminaires à proximité des fenêtres qui variera selon la lumière du jour.**



Image : Coralie Cauwerts



Image: site Energie Plus



Image: Coralie Cauwerts

#### → La gestion en fonction de la présence ou de l'absence

La détection de présence ou d'absence utilise un capteur qui détecte la présence (ou l'absence) d'un individu dans un espace spécifié. On distingue principalement deux types de détecteurs : les détecteurs PIR (Passive InfraRed – infrarouge passif) et les détecteurs HF (Haute Fréquence).

Les détecteurs PIR fonctionnent avec la détection d'un corps chaud en mouvement alors que la technologie HF utilise l'effet d'Oppler (réflexion des ondes différentes sur un corps en mouvement), à la manière d'un sonar. L'action de ceux-ci sur les lampes peut être de trois types : l'allumage, l'extinction ou, dans certains cas plus rare, la gradation.

La détection de présence fonctionne de manière totalement automatique (allumage lors de la détection de présence et extinction lors de l'absence). La détection de présence n'est pas recommandée pour certains types de lampes, notamment les lampes à décharge.

La détection d'absence requiert un allumage manuel au moyen d'un bouton poussoir et gère l'extinction lorsqu'il ne détecte plus personne. Elle est plus intéressante que la détection de présence en terme d'économie d'énergie.

**Dans certains cas, il est plus rentable d'investir dans un détecteur de présence que dans la rénovation de l'appareil d'éclairage. Ceci permet d'éviter un investissement important et de réaliser immédiatement des économies substantielles. L'utilisation de détecteurs de présence implique une certaine prudence dans les locaux où les mouvements des occupants sont faibles comme les bureaux. Les détecteurs peu sensibles risquent de ne pas détecter les mouvements légers engendrés par le travail sur ordinateur ou la lecture. La détection de présence est recommandée dans les locaux où la présence de personnes est occasionnelle, comme par exemple dans les salles de réunion, dans les locaux d'archives ou bibliothèque, les vestiaires, les sanitaires ou encore dans certains couloirs, ...**

#### → La gestion temporelle ou horaire

La gestion temporelle utilise une horloge pour effectuer des actions sur les lampes. Les actions peuvent être effectuées soit à heure programmées, soit après un certain temps d'allumage. Les actions sont en général l'extinction mais peuvent également l'allumage ou la gradation des lampes. Cette gestion temporelle peut également se faire par zone dans les bâtiments et/ou permettre un éclairage minimal.

#### → La gestion « mixte » ou combinée

Les différentes gestions présentées ci-dessus peuvent également être combinées. Pour un local de classe, il est intéressant de combiner un système de contrôle par zone avec une gestion en fonction de la lumière du jour et/ou avec une gestion horaire.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



En fonction du type de rénovation envisagée on peut choisir une solution simple (un système de contrôle par zone) ou une solution plus complexe comme un système de contrôle par zone avec une gestion de l'éclairage en fonction de la lumière naturelle ou encore une gestion horaire et pour certains locaux une gestion par détection d'absence.

Dans tous les cas, on veillera à ce que la consommation énergétique de l'ensemble du système de contrôle et de gestion soit la plus faible possible.

### 2.6.6.3. Les outils de contrôle

#### → L'interrupteur

L'interrupteur est l'outil le plus simple pour commander l'éclairage. Il s'agit en général d'un appareil qui va fermer ou ouvrir mécaniquement le circuit électrique et donc alimenter ou non les lampes.

#### → Le variateur d'intensité

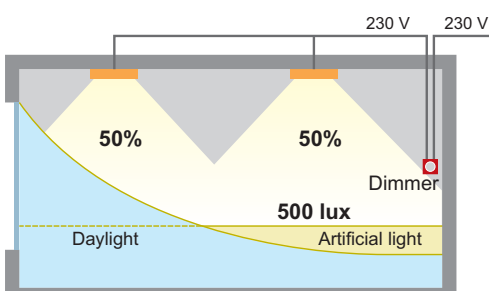
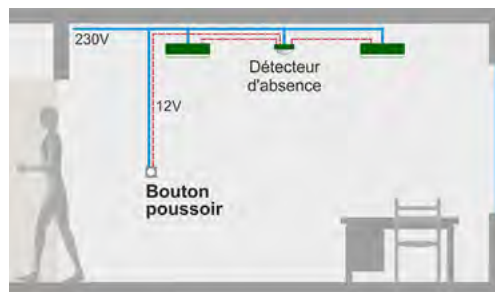
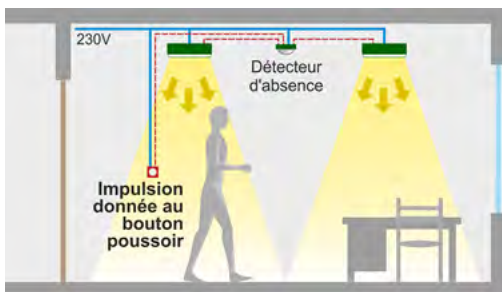
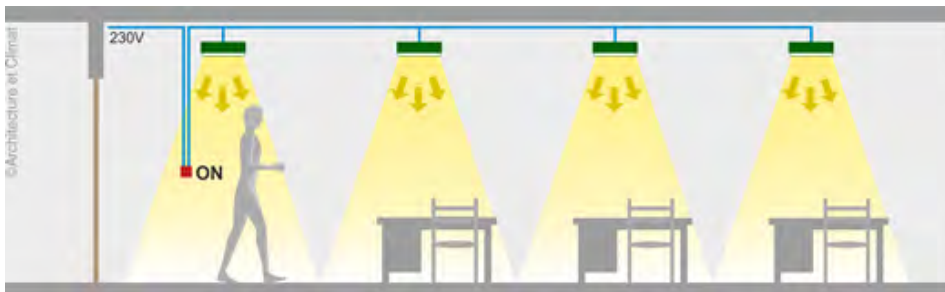
Le variateur est un outil de contrôle qui permet, de modifier le flux des lampes qu'il contrôle. En général, ceux-ci ne fonctionnent que pour les lampes incandescentes (y compris l'halogène) ou certaines lampes fluocompactes. Pour les lampes fluorescentes, il faudra un variateur spécifique qui commandera le ballast électronique graduable.

#### → Timer

La minuterie est un appareil qui se place généralement dans le tableau électrique. Il permet de couper l'éclairage automatiquement après un certain temps qui peut être déterminé par les utilisateurs. Ce mode de gestion peut être très pratique dans zones de circulations (couloirs, escaliers,...) où la présence est momentanée.

#### → Le détecteur de présence ou de mouvement

Il existe différents types de détecteurs de présence : détecteur mural ou détecteur placé au plafond. L'avantage des détecteurs muraux est qu'il est aisé dans le cadre de rénovation de remplacer un interrupteur par ce détecteur. Par contre, leur champ de vision étant réduit, leurs performances sont souvent moins bonnes que celle des détecteurs au plafond.





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE






### 2.6.7. Evaluation de l'installation existante

Avant d'entreprendre des travaux de rénovation de l'installation d'éclairage, il est nécessaire d'évaluer l'installation tant du point de vue du confort visuel que du point de vue énergétique.

Cette évaluation peut parfois être effectuée par un acteur de l'école si celui-ci a les connaissances suffisantes mais en général, il est recommandé de faire appel à un spécialiste en éclairage.

#### 2.6.7.1. Evaluation du confort visuel

Le tableau ci-dessous reprend une série de questions à se poser pour pouvoir évaluer le confort visuel ou au minimum détecter un problème d'éclairage.

Questions	
<p><b>Le niveau d'éclairage est-il suffisant ?</b></p>	<p>Le niveau d'éclairage se mesure en général avec un luxmètre</p> <p>Au niveau de la salle de classe, on recommande :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 300 Lx au niveau de l'espace classe</li> <li>- 500 Lx sur le plan de travail</li> </ul> <p>Ref : Normes européennes EN 12464-1 et EN 15251</p>
<p><b>L'éclairage est-il uniforme ?</b></p>	<p>Au niveau de la salle de classe, l'uniformité doit être :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- &gt; à 0.7 sur le plan de travail et au tableau</li> <li>- &gt; à 0.5 dans les zones adjacentes du plan de travail et du tableau</li> </ul>
<p><b>Existe t'il un risque d'éblouissement ?</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>	<p>Le risque d'éblouissement peut être identifié sur la base de mesures effectuées à l'aide d'un appareil de mesure de luminance. On veillera à identifier les éblouissements</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- directs</li> <li>- par réflexion (écran, tableau blanc...)</li> <li>- par effet de voile</li> </ul>
<p><b>Y a-t-il des ombres gênantes?</b></p>	
<p><b>La couleur de la lumière est-elle appropriée ?</b></p>	<p>La couleur de la lumière est un paramètre important au niveau de la perception psychologique d'un espace. Selon le type d'espace sont généralement les valeurs suivantes sont recommandées:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Local de classe en général : entre 2.000 en 5.000 K</li> <li>- Local de classe maternel : 3.000 K</li> <li>- Local de classe primaire : 5.000 K</li> </ul>
<p><b>L'indice de rendu des couleurs est-il adapté ?</b></p>	<p>De manière générale, on recommande pour le local de classe un indice (Ra) de plus de 80</p> <p>Dans les classes d'activités artistiques, on recommande un indice (Ra) plus élevé, de l'ordre de 90</p>

Remarque:

La SUBTASK C «Assessment of Technical Solutions and Operational Management» a évalué le confort visuel lié aux installations d'éclairage existantes dans les projets exemplaires de la SUBTASK A – voir les rapports SUBTASK C.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.6.7.2. Evaluation énergétique de l'installation

Le tableau ci-dessous reprend une série de questions à se poser pour pouvoir évaluer la performance énergétique de l'installation existante

<p><b>La puissance de l'installation est-elle adaptée, trop basse ou trop haute ?</b></p>	<p>Selon l'éclairage moyen prévu dans le local de classe (en général 300 ou 500 lux) la puissance de l'installation ne doit idéalement pas dépasser 6,6 W/m<sup>2</sup> (300 lux) à 11 W/m<sup>2</sup> (500 lux).</p> <p><i>Une puissance installée de 11 W/m<sup>2</sup> pour un éclairage de 500 lux peut sembler très exigeant, mais en réalité, assez facile à réaliser. Des systèmes bien conçus peuvent aller jusqu'à 8 ou 9 W/m<sup>2</sup> pour 500 lux.</i></p>
<p><b>Les luminaires sont-ils efficaces ?</b></p>	<p>Les appareils installés doivent avoir un bon rendement. Certains appareils comme des appareils supportant des tubes nus sans réflecteurs, des verres opalins... ne sont pas efficaces. Ils absorbent une grande partie du flux lumineux.</p>
<p><b>Les lampes à décharges sont-elles alimentées par des ballasts électroniques ?</b></p>	<p>La combinaison « ballast électronique + lampe » consomme jusqu'à moins 20% d'énergie pour une même quantité de lumière que la combinaison « ballast électromagnétique + lampe ». De plus la première combinaison permet d'allonger la durée de vie de la lampe.</p>
<p><b>La source lumineuse est-elle efficace ?</b></p>	<p>L'efficacité des sources de lumière varie fortement en fonction du type de lampe. Les lampes à incandescence ont un rendement lumineux faible (de 7 à 25 lm / W). L'efficacité lumineuse des lampes fluorescentes et lampes à économie d'énergie est beaucoup plus élevée (52 104 lm / W).</p>
<p><b>Le système de contrôle et de gestion de l'installation est-il efficace ?</b></p> <p>- L'installation est-elle commandée de manière automatique ?</p> <p>- L'installation d'éclairage s'éteint-elle automatiquement dans un local non utilisé, soit par minuterie, soit par détecteur de mouvement ?</p>	<p>Si non, cela signifie qu'il faut mettre en place une campagne de sensibilisation auprès des acteurs de l'école, principalement enseignants et élèves. Cependant une gestion de l'installation en fonction de la lumière du jour permet une économie de 30 à 50%</p>
<p><b>Y a-t-il un zonage de l'installation d'éclairage au niveau du local de classe ?</b></p>	
<p><b>Y a-t-il au sein de l'école un plan de maintenance ou d'entretien des luminaires ?</b></p>	<p>- Nettoyage régulier des luminaires, des réflecteurs...</p> <p>- Les tubes fluorescents sont-ils remplacés automatiquement en fin de vie ?</p>

Remarque:

La SUBTASK C «Assessment of Technical Solutions and Operational Management» a évalué l'efficacité énergétique des installations d'éclairage existantes dans les projets exemplaires de la SUBTASK A – voir rapports SUBTASK C.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.6.8. Optimisation de l'installation d'éclairage d'une classe

#### 2.6.8.1. Fixer des objectifs

L'évaluation de l'installation tant au niveau du confort que de la performance énergétique aura permis d'identifier certaines faiblesses ou manquements de l'éclairage artificiel dans le local de classe.

Sur la base de ces résultats, il faut d'abord se fixer des objectifs :

##### → Diminuer les consommations

On cherchera à diminuer la puissance installée tout en garantissant un éclairage suffisant et uniforme. Le choix se portera sur le type d'éclairage et sur le matériel (lampe, luminaire, ballast) ayant la meilleure efficacité énergétique. La fourniture d'éclairage artificiel sera adaptée aux besoins réels en fonction de l'occupation et en fonction de l'éclairage naturel.

##### → Améliorer le confort

De manière générale, il convient dans la rénovation des locaux de classe de privilégier l'éclairage naturel et de renforcer celui-ci (voir chapitre Confort). L'installation d'éclairage artificielle doit être considérée comme le support de l'éclairage naturel. Si l'objectif de la rénovation est l'amélioration d'un confort lumineux, on sera attentif au choix et à l'implantation des luminaires sans oublier la couleur de la lumière émise, le niveau d'éclairage et la couleur des parois.

Il est possible que les consommations électriques ne diminuent pas suite à la rénovation. La puissance installée peut rester sensiblement identique mais la meilleure efficacité des lampes ou des luminaires et un emplacement plus adéquat de ces derniers permettra d'atteindre le niveau d'éclairage recommandé et d'éliminer les problèmes de réflexions, d'ombres ou d'éblouissement.

**La norme européenne EN 12464-1 « Lumière et éclairage des lieux de travail - partie 1: Lieux de travail intérieur » préconise un niveau minimal d'éclairage de 300 lux sur le plan de travail dans les salles de classes maternelles, primaires et secondaires alors que cette même norme recommande 500 lux pour des adultes.**

**La norme européenne EN 15251 recommande également un niveau minimum de 300 lux.**

##### → Diminuer le coût d'entretien et de maintenance

Les performances des lampes et luminaires doivent rester valables le plus longtemps possible. Le choix des lampes à longue durée de vie est une chose mais il faut que le luminaire garantisse les performances dans le temps. De plus, un entretien rapide peut être exigé afin de diminuer les coûts importants liés à la main-d'œuvre.

#### 2.6.8.2. Types de rénovation envisagée (source : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15948>)

Ensuite et en fonction du budget disponible deux types de rénovation de l'installation peuvent être envisagées.

##### → Rénovation partielle

Rénover partiellement l'installation d'éclairage consiste à remplacer les éléments énergivores ou peu performants de l'installation : soit les lampes, soit les ballasts, soit les optiques sans trop «toucher» à l'installation existante.

En d'autres termes, tant que l'on ne démonte pas les luminaires, leurs câbles d'alimentation, leur commande/gestion, la rénovation peut être considérée comme partielle.

##### → Rénovation complète

Rénover complètement l'installation d'éclairage consiste à remplacer l'ensemble des luminaires et à revoir la gestion de ceux-ci. Ce remplacement complet est plus onéreux, mais conduit généralement à une plus grande économie d'énergie. Il permet d'élargir la sélection des appareils et de réaliser des choix mieux adaptés aux besoins. Ceci étant, il suppose de pouvoir:

- modifier et/ou remplacer les faux-plafonds (dans le cas de luminaires encastrés)
- modifier le réseau électrique, l'insertion de commandes et de gestions supplémentaires.

Cette rénovation complète consiste en réalité à concevoir un nouveau projet d'éclairage. Ce type de rénovation ne sera pas traité ci-après.

##### → Plus de précision – étude de cas AIE SHC Task 50

La rénovation des installations d'éclairage dans les écoles fait également l'objet de la TASK 50 de l'AIE SHC Program «Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings » - [task50.iea-shc.org](http://task50.iea-shc.org) La SUBTASK D de cette task 50 analyse en détail des cas d'étude. The selection of Case Studies will be based on a general building stock analysis, including the distribution of building typology in relation to lighting retrofit potential. These case studies will deliver proven and robust

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Remarque:

Si l'installation d'éclairage a plus de 15 ans et que les locaux sont utilisés quotidiennement, une rénovation complète doit être envisagée. En effet les technologies des lampes, des luminaires et des systèmes de commandes et gestion ayant fortement évolué, une rénovation complète de l'installation permettrait des économies importantes de l'ordre de 30 à 70%

evidence of achievable savings and show integrated retrofit strategies. Measurements and assessments will include monitoring of energy savings, lighting quality and operational costs. In addition, Subtask D will provide updated information from an analysis of previously documented Case Studies in the literature and on websites.

### 2.6.8.3. Remplacement des lampes

Le remplacement des lampes peut s'envisager de plusieurs manières :

#### → La suppression de lampes

Lorsque le niveau d'éclairage est trop élevé, la réduction de celui-ci peut s'obtenir par la suppression d'une lampe sur deux (par exemple) dans les luminaires existants. La faisabilité de cette action doit être confirmée par un contrôle du mode de câblage interne des luminaires : il faut un ballast, un starter et un condensateur par lampe.

Il est également nécessaire de réduire intelligemment le nombre de lampes en conservant l'uniformité recommandée.

#### → Le remplacement de lampes

On remplace simplement les lampes par des lampes ayant un meilleur rendement lumineux. Les professionnels parlent souvent de «relamping». Ce remplacement peut se faire :

- en remplaçant en une fois toutes les lampes, ce qui demande un investissement plus élevé, mais qui sera rapidement rentabilisé.
- en remplaçant les lampes lorsqu'elles sont défectueuses. Dans ce cas, l'investissement est nul, mais l'économie d'énergie mettra un certain temps pour devenir significative.

Lorsque le niveau d'éclairage est insuffisant, le remplacement par des lampes à meilleure efficacité lumineuse permet, à puissance égale, une augmentation du flux lumineux.

Si l'installation d'éclairage est constituée de lampes à incandescences, on devra envisager le remplacement de celles-ci car celles-ci sont trop énergivores. D'un point de vue énergétique, il est facile de dévisser une lampe à incandescence pour la remplacer par une plus performante. D'un point de vue du confort, c'est différent sachant que la lampe à incandescence est la lumière blanche par excellence. Lors du remplacement, il faudra tenir compte aussi de la photométrie du luminaire, du rendu de couleur, de la température de couleur et de l'aptitude de la lampe à supporter des allumages fréquents, du dimming, ....

Les lampes à incandescence peuvent être remplacées par, dans un ordre croissant d'efficacité énergétique, les lampes halogènes, les fluocompacts et/ou les LEDs.

Il peut également être intéressant de remplacer les tubes fluorescents de Ø 38 mm (ancienne génération) par des Ø 26 mm qui ont une efficacité lumineuse supérieure. Ils ont la même longueur, le même culot et utilisent les mêmes ballasts (à l'exception des tubes fluorescents à allumage rapide). Ils sont donc directement interchangeables.

### 2.6.8.4. Le remplacement des ballasts

Le remplacement des ballasts existants dans les luminaires peut être envisagé mais il est important de rappeler que dans ce type de travaux de rénovation, le coût de la main-d'œuvre est loin d'être négligeable. En effet, remplacer le ballast d'un luminaire nécessite la dépose du luminaire, le remplacement du ballast, le recâblage du luminaire et le remontage du luminaire. Il vaut parfois mieux remplacer complètement le luminaire.

#### → Remplacement de ballasts électromagnétiques par électroniques

Dans une installation possédant déjà des optiques et des lampes performantes, il est cependant peu rentable de remplacer uniquement les ballasts électromagnétiques par des ballasts électroniques.

#### → Remplacement des ballasts existants par des ballasts électroniques « dimmables »

Dans les locaux de classe où la lumière naturelle est toujours présente, on peut se poser la question du remplacement des ballasts existants par des ballasts électroniques « dimmables » qui géreront le niveau d'éclairage artificiel en fonction de l'apport en lumière naturelle.

Si les ballasts existants sont déjà des ballasts électroniques, l'investissement consenti pour le remplacement des ballasts

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



n'engendrera pas d'économie mais une meilleure utilisation de l'énergie.

Si les ballasts existants sont en fin de vie et qu'un remplacement est nécessaire, on peut éventuellement envisager de les remplacer par des ballasts électroniques dimmables et un système de gestion simple de gradation en fonction de la lumière du jour.

Si les ballasts existants sont électromagnétiques, leur remplacement permet une économie d'énergie d'environ 20%.

### 2.6.8.5. Le remplacement de l'optique

Souvent, le mauvais rendement et l'inconfort d'une installation d'éclairage ancienne (âgée de plus de 20 ans) est imputable aux anciennes générations d'optiques (absence de réflecteurs, diffuseurs opalins jaunis, diffuseurs prismatiques, ...). Grâce au développement d'optiques « à miroir », le rendement lumineux des luminaires est actuellement passé de 40 % à plus de 70 %.

Pour des bâtiments de grande taille, comme certains bâtiments scolaires, et équipés d'un système d'éclairage reproductible (même type de luminaire dans tous les locaux de classe), il peut être intéressant de conserver les armatures et y incorporer un dispositif comprenant une optique à miroir, des vanelles paraboliques et un ballast électronique.

Le dispositif est préassemblé et il suffit de le raccorder dans le boîtier existant. Cette opération ne demande pas de modification des plafonds, ni de la commande, ni parfois de démontage des luminaires. Elle peut donc se faire rapidement, sans interruption significative des activités.

Le seul remplacement des optiques ne diminue pas les consommations car la puissance électrique installée reste inchangée mais améliore le confort visuel. L'amélioration du rendement des luminaires doit donc être accompagnée de la diminution de la puissance totale des lampes (suppression de lampes, diminution de la puissance des lampes).

L'inconvénient de cette rénovation est le maintien de l'emplacement des luminaires, qui peut ne pas être optimum ou ne plus convenir à une nouvelle occupation des locaux.

### 2.6.8.6 L'amélioration du contrôle et de la gestion de l'installation

#### → La sensibilisation des utilisateurs du bâtiment

Un système de gestion de l'éclairage ne fonctionnera correctement que s'il est parfaitement accepté par les occupants. **C'est pourquoi il est souvent conseillé de ne pas pousser trop loin la recherche d'économies au détriment de la liberté des utilisateurs et de la simplicité du système.**

Dans un premier temps, on peut influencer les comportements en informant et en motivant l'utilisateur, sans modifier le mode de commande de l'installation. Dans ce cas, la collaboration des utilisateurs sera d'autant plus facile que ceux-ci disposent de commandes personnelles et ergonomiques. Les élèves et les enseignants devront être sensibilisés à :

- la non-utilisation de l'éclairage artificiel général si l'éclairage naturel est suffisant.
- l'extinction de l'éclairage d'un local lorsqu'ils quittent celui-ci.

#### → Le zonage

Une première mesure d'amélioration consiste à créer un zonage de l'installation d'éclairage dans le local de classe en différenciant la rangée de luminaires proches des fenêtres et les autres luminaires. La rangée de luminaires proches des fenêtres sera alors commandée par un interrupteur différent que les autres luminaires.

#### → La gestion en fonction de l'absence

Une seconde mesure d'amélioration consiste à commander l'extinction des luminaires au moyen d'un détecteur d'absence. En effet même si les utilisateurs auront été sensibilisés à la non-utilisation et à l'extinction de l'éclairage artificiel, des oublis seront fréquents.

#### → La gestion en fonction de la lumière du jour

Dans le cas des locaux de classe, une économie énergétique très importante peut également être obtenue par la gestion automatisée de l'éclairage en fonction de l'éclairage naturel.

Si les mesures réalisées sur le site de rénovation montrent un apport important de lumière naturelle dans les locaux de classe, il sera utile de jouer sur des capteurs de luminosités pour commander les lampes (on/off par des cellules crépusculaire ou dimmable en fonction de l'éclairage du jour).

Les ballasts électroniques dimmables sont plus intéressants qu'une commande ON/OFF pour des raisons de confort visuel.

Si un zonage de l'installation a préalablement été réalisée, on peut envisager de placer un capteur de luminosité au niveau de la rangée de luminaires à proximité des fenêtres.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.6.8.7. Améliorer l'entretien

Le vieillissement d'une installation d'éclairage va se manifester par une perte progressive d'efficacité et par l'apparition, au-delà d'un certain temps, de défaillances des lampes.

La perte d'efficacité lumineuse peut être engendrée par :

- la baisse du flux lumineux émis, de l'ordre de 7 à 50 % en fin de vie (moyenne) des lampes.
- la baisse du rendement des luminaires, liée à l'empoussièrement et au jaunissement des optiques et des sources lumineuses. Cette baisse est de l'ordre de 5 à 26 % dans un local propre si les luminaires sont nettoyés tous les 3 ans.
- la réduction des facteurs de réflexion du local.

#### → Le remplacement des lampes

L'objectif du remplacement est de restituer à l'installation tout ou partie de son efficacité initiale. Le programme de maintenance/remplacement peut être de trois types :

- préventif : remplacement en une seule fois de toutes les lampes à intervalle de temps régulier
- curatif : remplacement des lampes hors services au coup par coup
- combinée : combinaison des deux programmes précédents

#### → Le nettoyage des luminaires et des locaux

Si la plupart des locaux scolaires sont régulièrement nettoyés (surface au sol et dépoussiérage du mobilier), l'installation d'éclairage et certaines parois (plafond, murs, fenêtres) ne sont pas ou peu entretenues (laps de temps plus importants).

Les lampes, les luminaires et les parois sont cependant sujets à l'empoussièrement. Cet empoussièrement a un impact non négligeable sur l'efficacité lumineuse. Dans le cas d'un nettoyage annuel, on peut s'attendre à une chute de l'éclairage de l'ordre de 10 à 15 %. La fréquence du nettoyage doit être fixée suivant l'intensité de l'empoussièrement. Généralement, une intervention tous les 6 mois permet d'obtenir de bons résultats.

Le nettoyage comprend le nettoyage des lampes et le nettoyage des luminaires.

Le plan de maintenance doit également tenir compte d'un nettoyage et rafraîchissement des vitrages, parois, rideaux, qui contribuent à l'éclairage naturel des locaux.

#### → La fin de vie des lampes, luminaires et auxiliaires et recyclage

Certaines lampes usagées ou défectueuses peuvent contenir des matériaux toxiques (principalement du mercure) qu'il est interdit de laisser échapper dans l'atmosphère ou dans le sol.

Au niveau européen :

- les lampes à incandescence sont considérées comme des déchets de catégorie 2 et associées aux déchets ménagers
- les lampes fluocompactes et les tubes sont considérés comme des déchets de catégorie 1 et associées aux déchets dangereux (présence de mercure)

Les lampes fluocompactes et tubes sont collectés dans les centres de tri ou par des entreprises agréées et ensuite pour la plupart recyclés. Le traitement consiste principalement en un broyage qui permet de séparer les poudres fluorescentes, le verre et les parties métalliques. Les dernières techniques mises au point permettent de récupérer des matériaux purs aptes à la fabrication de nouvelles lampes.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

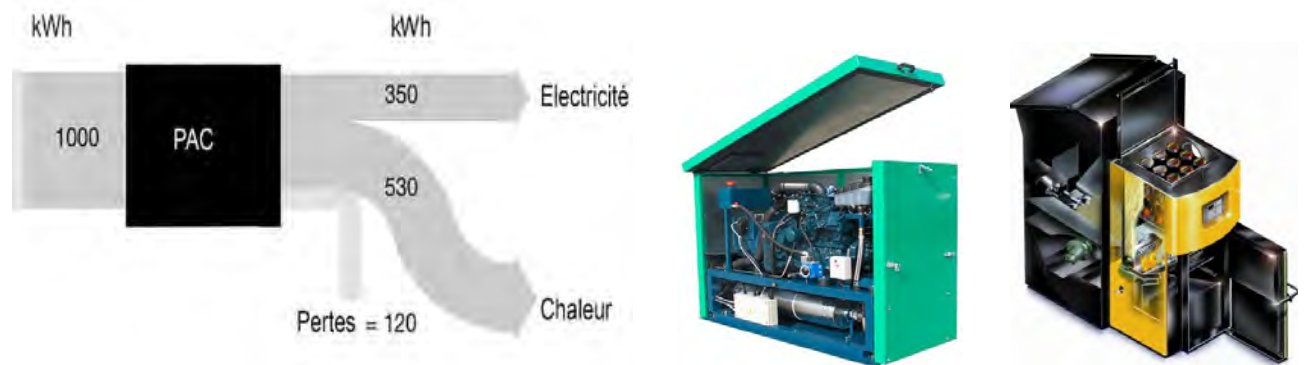
## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.7. La production d'électricité par cogénération



La cogénération consiste à produire, de manière combinée de l'électricité (1/3) et de la chaleur (2/3). La cogénération permet d'économiser de l'énergie primaire (cas de la Belgique : entre 15 et 20%) et de réduire les émissions polluantes, dont certains gaz à effets de serre.



La récupération de la chaleur se fait à partir de technologies existantes de production d'électricité, c'est-à-dire à partir de :

- Groupes électrogènes (moteur à combustion interne)
- Turbines à gaz/biogaz/mazout
- Turbines à vapeur – moteur vapeur
- Moteur Stirling (moteur à combustion externe)
- Pile à combustible

Différents combustibles peuvent être utilisés :

- Combustibles fossiles : gaz, mazout, propane,...
- Combustibles renouvelables : bois, biogaz, biodiesel, huiles,...

La plupart des installations fonctionnent soit au gaz naturel, soit à la biomasse. Les petites installations ou micro-cogénération fonctionnent principalement au gaz naturel. Certains modèles peuvent fonctionner avec du biogaz ou biodiesel.

Lorsque l'on dimensionne une cogénération, ils y a deux facteurs à prendre en ligne de compte :

#### Le facteur économique

L'installation de cogénération ne sera pas dimensionnée pour couvrir tous les besoins de chaleur mais seulement pour couvrir la charge de base. Une unité de cogénération ne remplace pas totalement une chaudière, elle la complète utilement. Tant que la demande en chaleur correspond à un fonctionnement normal de l'installation de cogénération, celle-ci assure la production de chaleur. Pendant les périodes où les besoins de chaleur sont peu importants, c'est la chaudière qui assure la production de chaleur.

En d'autres termes, il faut que la cogénération fonctionne le plus longtemps possible durant une année pour qu'elle soit rentable.

#### Le facteur technique

Ce facteur est lié à la flexibilité de la production. Généralement, les cogénérations demandent des cycles de production

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



longs pour permettre d'obtenir de bons rendements mais aussi pour leur durée de vie (essentiellement mécanique).

Dans tout projet de rénovation, avant d'investir dans une installation de cogénération, il est nécessaire de réaliser une étude de faisabilité pour s'assurer l'intérêt technico-économique du projet, tout en sachant que l'intérêt premier est de réduire la facture énergétique et environnementale tant au niveau chauffage (ECS éventuellement) qu'au niveau électricité.

Dans le cas d'un projet de rénovation de bâtiments scolaires où l'enveloppe aura été optimisée et les besoins en chaleur auront été ainsi réduits, on peut se poser la question de l'intérêt technico-économique de ce type d'installation.

- dans le sud et au centre de l'Europe, si les besoins de chauffage ont été réduits (isolation et étanchéité renforcées), vu les gains internes des locaux de classe (nombre d'occupants par classe, éclairage artificiel), l'installation de cogénération ne sera pas rentable;
- dans les pays nordiques, en Norvège notamment, il est actuellement difficile d'être plus rentable qu'un système de chauffage électrique (direct ou par pompe à chaleur) vu le prix de l'électricité.

Pour ces différentes raisons, nous n'aborderons pas davantage cette thématique dans la présente publication. Néanmoins, nous proposons quelques ouvrages de référence :

- **Guide Bâtiment Durable**, Bruxelles Environnement, Bruxelles - <http://guidebatimentdurable.bruxellesenvironnement.be/fr/index?IDC=3>
- le site **Energie Plus** - [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)
- **Installer une cogénération dans votre établissement - Guide de pré-faisabilité pour les acteurs du secteur tertiaire et PME**, Energie Wallonie - <http://energie.wallonie.be/fr/installer-une-cogeneration-dans-votre-etablissement-guide-de-pre-faisabilite-pour-les-acteurs-du-secteur-tertiaire-pme-p.html?IDD=11652&IDC=6110>
- **Cogénération et micro-cogénération, Solutions pour améliorer l'efficacité énergétique**, Méziane Boudelal, Technique et Ingénierie, Dunod / L'Usine nouvelle
- **Intégrer les énergies renouvelables, choisir, intégrer et exploiter les systèmes utilisant les énergies renouvelables**, Alain Filloux, Guide «Bâtir le développement durable», CSTB, juin 2010



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.8. La production d'électricité au moyen de sources renouvelables



#### 2.8.1. Remarque préalable

A l'heure actuelle, il existe différentes sources d'énergie renouvelables pour produire de l'électricité :

- l'énergie solaire;
- l'énergie éolienne;
- l'énergie hydraulique;
- la biomasse;
- la production d'électricité par cogénération

Le développement et l'accroissement de l'ensemble de ses sources est, de manière générale, à encourager mais, à l'échelle des bâtiments scolaires et de leur rénovation, seuls quelques systèmes de production peuvent être facilement intégrés :

- le solaire photovoltaïque
- la production d'électricité en associant une cogénération à l'installation de chauffage, dans le cas d'écoles ayant un besoin important en eau chaude (voir point 4)
- le petit éolien

Dans la présente fiche, nous ne parlerons que de la production d'électricité au moyen de panneaux photovoltaïques qui présente à la fois un intérêt financier et environnemental

#### Pourquoi passer aux énergies renouvelables?

L'utilisation mondiale de l'énergie repose aujourd'hui à 80% sur les énergies fossiles. La plupart de ces sources seront épuisées dans quelques dizaines d'années avec pour conséquence une augmentation sensible du prix d'achat (phénomène de l'offre et la demande). De plus, de nombreux gisements de ces ressources se situent dans des régions politiquement instables ou difficiles d'accès, ce qui rend l'approvisionnement difficile. Ceci étant une seconde raison à l'augmentation du coût.

Mais plus encore, ces ressources fossiles doivent être brûlées pour produire de l'énergie, ce qui a pour conséquences actuelles de nombreux problèmes de pollution (réchauffement climatique, acidification de l'environnement, formation d'ozone troposphérique...) et de santé (problèmes respiratoires, allergies...)

Les capteurs photovoltaïques utilisent l'énergie solaire pour produire de l'électricité à partir de la lumière, par effet «photovoltaïque». Utilisant une énergie gratuite, propre et renouvelable, cette technologie en pleine évolution allie intérêts écologiques et économiques. Elle permet :

- une valorisation énergétique des surfaces non utilisées (par exemple : toiture, façade, «car port»...).
- une compensation partielle (voire totale !) des consommations électriques, en complément et en adéquation avec une gestion sobre et efficace des consommations électriques. Idéalement, elle ne devrait pas remplacer les mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie, mais les compléter !

#### 2.8.1.1 Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. L'effet photovoltaïque est obtenu par l'absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique.

Toute installation photovoltaïque raccordée au réseau est composée des éléments suivants :

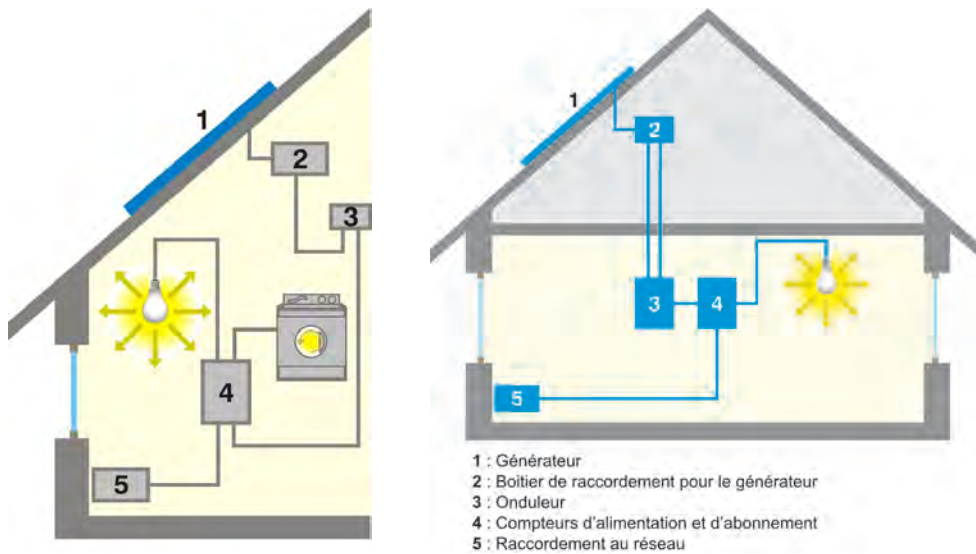
- Un champ de capteurs (ou générateur) composé de modules photovoltaïques (1).

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- Un boîtier de raccordement (2). Dépendant du type de raccordement, il permet un montage en parallèle de plusieurs strings (série de capteurs). Il permet aussi le placement, si besoin est, de protections contre les sur-tensions des modules et de l'onduleur.
- Un onduleur (3) qui transforme le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif utilisable.
- Au moins un compteur (4). En Belgique, toute installation comprend en plus du compteur électrique standard, un compteur de certificats verts!
- Un boîtier de raccordement au réseau de distribution (5)



Le courant continu est produit dans les cellules du module solaire par l'incidence lumineuse. L'ensemble des modules reliés entre eux forme le « générateur » photovoltaïque. Le courant continu produit par le générateur est relié au boîtier de raccordement du générateur et est conduit jusqu'à l'onduleur.

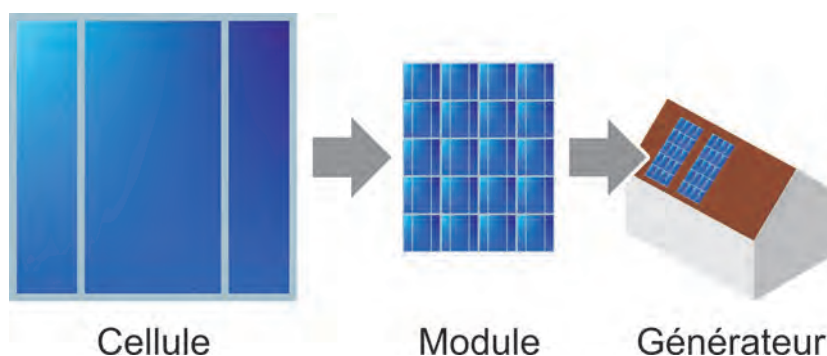
L'onduleur transforme le courant continu en courant alternatif. Ensuite, deux possibilités :

- la totalité du courant alternatif alimente le réseau électrique public par l'intermédiaire d'un compteur d'alimentation. Les récepteurs reçoivent le courant nécessaire à leur fonctionnement par un compteur d'abonnement qui le sépare du réseau électrique local ;
- le courant alternatif produit n'est pas relié au réseau public et est soit consommé sur place, soit stocké dans des accumulateurs

**Dans le cas de bâtiment scolaires, il est intéressant de consommer en direct l'électricité produite pendant les périodes d'activités et de pouvoir renvoyer l'électricité produite sur le réseau public lors des périodes de congés.**

### 2.8.1. Notions générales : plaquettes de silicium- cellule/module - générateur

Le matériau de base des cellules solaires cristallines est une plaquette de silicium de 0.2 à 0.3mm appelée «wafer». C'est à l'intérieur de ces petites unités que l'effet photovoltaïque se produit.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Lorsque les différentes couches de semi-conducteurs composant la cellule solaire sont éclairées, une différence de potentiel apparaît. Ce phénomène se mesure extérieurement par tension. Pour être utilisée, la tension doit être amplifiée en montant en série plusieurs cellules. Un module est généralement constitué de cellules solaires branchées en série. Le nombre maximum de cellules (= tension du module) est principalement limité par les conditions de mise en œuvre du module (poids et dimensions).

Lorsqu'on branche en série plusieurs modules pour monter une installation photovoltaïque, on parle de rangée ou de string. L'ensemble des rangées de modules couplées les unes ou autres (même s'il n'y a qu'une seule rangée) est appelée générateur.

### 2.8.3. La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui lorsqu'il est exposé au spectre solaire génère une tension électrique par effet photovoltaïque.

Toutes les cellules sont créées à partir de matériaux semi-conducteurs. La plupart du temps, c'est le silicium (Si) qui est utilisé mais on rencontre aussi le sulfure de cadmium (CdS), le tellure de cadmium (CdTE), des alliages de cuivre indium et sélénium (CIS),...

#### 2.8.3.1. Types de cellule

Trois technologies de cellules existent suivant leur mode de production :

##### → 1ère génération : cellules cristallines

La technique de fabrication de ces cellules, basée sur la production de «wafers» à partir d'un silicium très pure, reste très énergivore et coûteuse.

*Méthode de fabrication : le cristal formé par refroidissement du silicium en fusion dans des creusets parallélépipédiques est ensuite découpé en fines tranches appelées «wafers». Les cellules sont alors obtenues après «dopage» et traitement de surface.*

On distingue deux types de cellules cristallines

##### Cellules polycristallines

Le refroidissement du silicium en fusion est effectué dans des creusets parallélépipédiques à fond plat. Par cette technique, des cristaux orientés de manière irrégulière se forment. Cela donne l'aspect caractéristique de ces cellules bleutées présentant des motifs générés par les cristaux.

##### Rendement

11-15 % (On obtient ainsi une puissance de 110 à 150 Wc par m<sup>2</sup>)

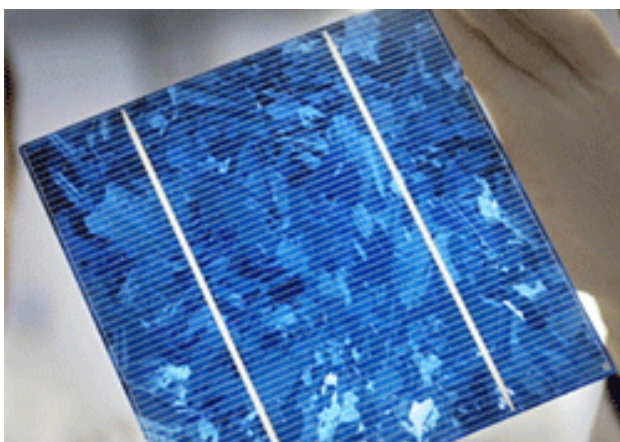
Ces cellules restent les plus utilisées du fait du rapport performance/prix plus intéressant que celui de leurs homologues monocristallins.

##### Avantage

Rapport performance/prix.

##### Inconvénient

Rendement faible sous éclairement réduit.



Source: [www.solar-construction.com](http://www.solar-construction.com)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Cellules monocristallines

Ces cellules sont constituées de cristaux très purs obtenus par un contrôle strict et progressif du refroidissement du silicium.

#### *Rendement*

12-19 % (On obtient ainsi une puissance de 120 à 190 Wc par m<sup>2</sup>).

#### *Avantage*

Très bon rendement.

#### *Inconvénients*

Coût élevé.

Rendement faible sous éclairage réduit.

### → 2ème génération : couches minces « thin films »

Dans le cas de «couches minces», le semi conducteur est directement déposé par vaporisation sur un matériau support (du verre par exemple). Le silicium amorphe (a-Si) (silicium non cristallisé de couleur gris foncé), le tellure de cadmium (CdTe), le diséléniure de cuivre indium (CIS) font notamment partie de cette génération. Ce sont des cellules de cette technologie que l'on retrouve dans les montres, calculatrices,... dites solaires !

### Le silicium amorphe

Le matériau semi-conducteur actif est, contrairement aux cellules cristallines, considérablement plus fin.

On a donc besoin de moins de matériau de base que pour les cellules au silicium cristallin.

#### *Rendement*

60-70 Wc/m<sup>2</sup>.

#### *Avantages*

Moins coûteux que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur.

Moins polluant à la fabrication (Ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en «wafers» (moins énergivores)).

Fonctionnent avec éclairage faible.

Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température.

Possibilité de créer des panneaux souples.

#### *Inconvénients*

Rendement global plus faible.

Rendement moindre sous éclairage direct.

Diminution de performance avec le temps plus importante.

Il existe d'autres types de cellules «couches minces» : tellure de cadmium (CdTe), le diséléniure de cuivre indium (CIS),... Le CdTe présente de bonnes performances mais la toxicité du cadmium reste problématique pour sa production. Les modules CIS atteignent, eux, un rendement de l'ordre de 17 % en laboratoire et jusqu'à 11 % pour les cellules commercialisées.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

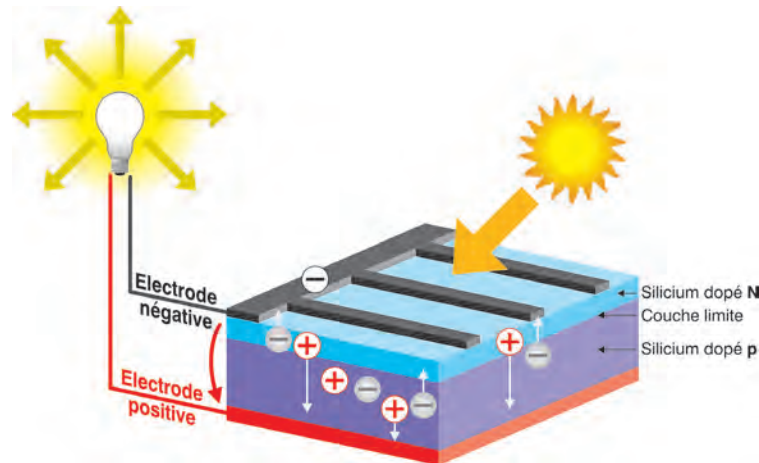
## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### → 3ème génération : multijonction, concentration...

Pour améliorer les rendements des cellules, la recherche se tourne actuellement vers plusieurs pistes dont notamment :

- **Cellules multicouches** : superposition de multiples cellules aux propriétés différentes (utilisant des bandes d'énergie différentes permettant un balayage plus large du spectre solaire). Ce type de cellules est déjà commercialisé, mais principalement pour des applications spatiales. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (de l'ordre de 30 %).
- **Cellules à concentration** (permet d'utiliser des photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas absorbés par la cellule).
- **Cellules organiques...**



### 2.8.3.2. Fonctionnement d'une cellule cristalline

L'apport ciblé (dopage) d'atomes étrangers (la plupart du temps bore et phosphore) permet la création dans la cellule de deux couches avec des propriétés électriques différentes :

- Couche positive « p »
- Couche négative « n »

A la limite de ces deux couches, un champ électrique se forme, c'est la zone de charge d'espace (ZCE). Lorsque la cellule est éclairée, les charges électriques situées dans la zone de charge d'espace se séparent. Dans la liaison électrique, une tension continue de 0.5V en moyenne se forme, dépendant peu de l'éclairement.

### 2.8.3.3. Puissance maximale

Le courant et la puissance électrique d'une cellule solaire dépendent directement de l'intensité du flux lumineux.

L'énergie offerte par les cellules est maximale lorsque le ciel est dégagé et ensoleillé. En cas de lumière diffuse (couverture nuageuse), le flux lumineux est plus faible et par conséquent la puissance est plus faible.

**La puissance maximale d'une cellule est définie pour un flux lumineux de 1000W/m<sup>2</sup> à une température de 25°C. Elle est appelée puissance « crête » et est exprimée en Wc (watt crête).**

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE

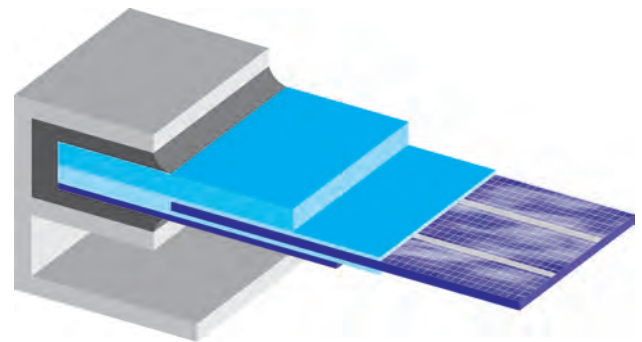
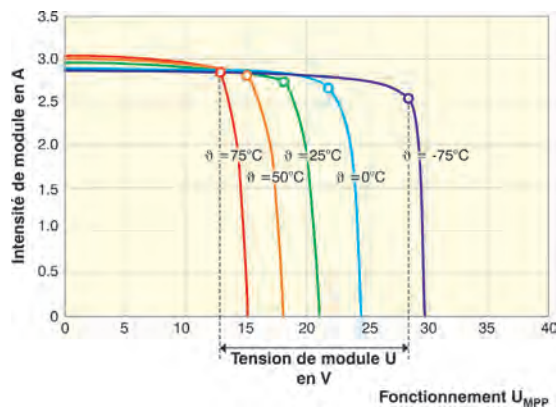


### 2.8.3.4. Intensité et tension électriques

Une cellule solaire est caractérisée par :

- une intensité électrique : dépend de la puissance du flux lumineux et de la taille de la cellule
- une tension électrique : dépend essentiellement du matériau qui constitue la cellule

Le seul moyen d'augmenter la tension est de monter plusieurs cellules en série. Une série de plusieurs cellules est appelée « string ».



### 2.8.3.5. Influence de la température

Le réchauffement d'une cellule solaire conduit à une diminution du rendement. Pour les cellules cristallines, la perte de rendement correspond à 0.5% par degré Celsius. Sur ce point, les cellules à couches minces sont moins sensibles que les cellules au silicium cristallin.

Tout réchauffement est donc à éviter. C'est pourquoi, les installations permettant une ventilation sur la face arrière du module sont à privilégier.

### 2.8.4. Le module

Un module est composé de plusieurs strings. L'association des cellules en modules permet d'obtenir une tension suffisante, de protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité,...) et de protéger mécaniquement les cellules (chocs,...). Le module photovoltaïque est généralement composé de :

- plusieurs cellules solaires reliées les unes aux autres ;
- un vitrage (ou stratifié) de protection contre les intempéries
- une protection contre les surtensions au moyen d'une ou plusieurs diodes by-pass
- un dispositif de branchement
- un vitrage en face arrière
- un cadre en aluminium



Source: [www.etemit.be](http://www.etemit.be)

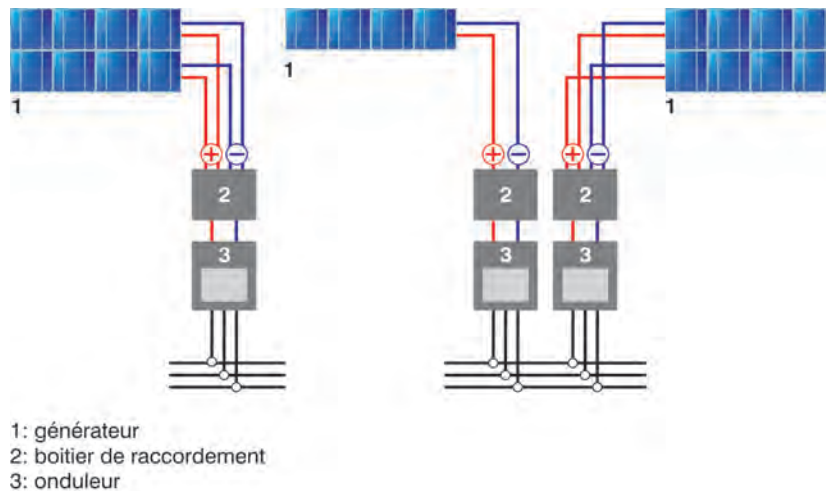
Source: [www.solar-construction.com](http://www.solar-construction.com)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Le type de module le plus courant, rencontré entre autres pour le montage en toiture est le module verre tedlar. Il existe cependant d'autre type de module comme les modules «verre-verre», utilisés pour leur propriété «translucide» : verrières, façade,... Des modules tuiles/ardoises solaires où les cellules sont directement intégrées dans des modules de formes traditionnelles de toiture. Celles-ci sont cependant plus exigeantes en termes de main d'œuvre. D'autres modules de types «thin film» ont aussi récemment fait leur apparition sur la marché. Ils sont en général disposés sur un support souple (teflon,...).



Pour fabriquer un module, plusieurs cellules sont reliées électriquement les unes aux autres (branchées en série) de manière à atteindre la tension et l'intensité utiles à la sortie du module. Chaque série est protégée par une diode by-pass qui permet

- d'éviter, en cas d'ombrage de certaines cellules, que l'échauffement de celles-ci ne provoque une panne ou une dégradation ;
- de limiter la baisse de performance qui découle de cet échauffement pour l'ensemble du module

Les modules sont connectés entre eux (en série ou parallèle) par des fils électriques. Ils forment alors un champ de capteurs (appelés aussi générateur).

### 2.8.5. L'onduleur

La plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif ; or une installation photovoltaïque produit un courant continu. Le premier rôle d'un onduleur sera d'assurer cette transformation. Mais son rôle ne s'arrête pas là. Il doit permettre en plus :

- la recherche du point de fonctionnement maximal (MPP tracker) par rapport à l'intensité et à la tension générée par les modules, par exemple, par modification d'impédance.
- de se synchroniser avec le réseau du GRD afin de pouvoir réinjecter le courant généré. Pour cela, il devra adapter la tension (transformation), la fréquence et l'impédance.
- de se découpler automatiquement en cas de chute de tension dans le réseau.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- le relevé et l'enregistrement des valeurs caractéristiques du fonctionnement nécessaire à la maintenance et au contrôle de l'installation

Un onduleur possède des plages de travail bien définies : puissance maximale, tensions minimum et maximum et courant maximum.

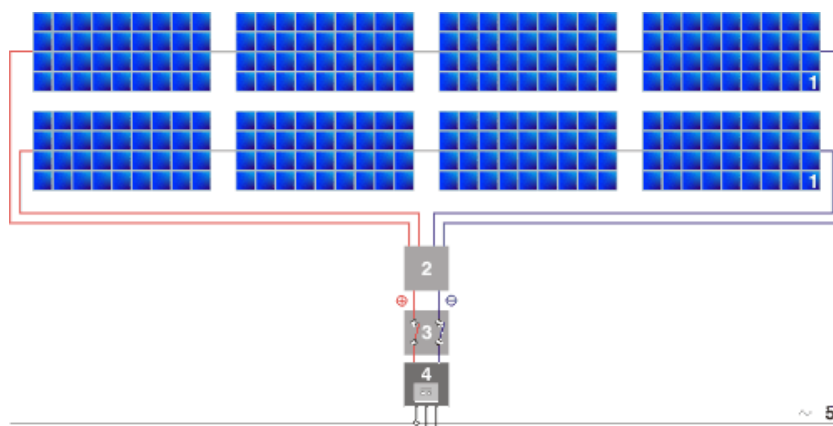
Ces valeurs devront donc être en cohérence avec les caractéristiques du champ de capteurs pour éviter tout risque de mauvais fonctionnement voire de détérioration de l'appareil.

### 2.8.5.1. Configurations possibles

Différentes configurations sont possibles pour la position du ou des onduleurs par rapport aux modules photovoltaïques : sur chaque panneau, string, champ de capteurs,... La configuration idéale d'une installation (raccordement des modules en série parallèle et place de l'onduleur) dépendra essentiellement de l'homogénéité du champ de capteurs (ombrage, orientation et inclinaison, types de cellules, défaillance, encrassement,...).

#### → Onduleur central – un onduleur gère l'ensemble de l'installation

Dans cette configuration, l'onduleur ne perçoit pas les différences de caractéristiques entre les courants produits par les différents strings. Ils sont en effet couplés au préalable au niveau du boîtier de raccordement. C'est à partir de ce courant (d'intensité égale à la somme des courants et de tension égale à la tension la plus haute des différents strings) réellement perçu par l'onduleur est que celui-ci adaptera ses caractéristiques d'entrée pour faire fonctionner le générateur photovoltaïque à son point de puissance maximum.



#### Avantages

Coût.

Simplicité et rapidité de montage.

#### Désavantages

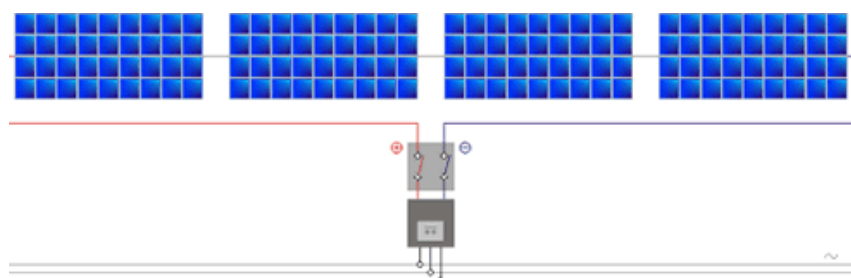
La tension de sortie et donc la production énergétique est très facilement perturbée par un string plus faible (ombrage, nombres de panneaux, type de cellule,...). Ce type de raccordement ne permet pas de travailler avec des strings de natures différentes sans altérer considérablement la production.

#### → Onduleur string - un onduleur par string

Dans cette configuration, chaque onduleur peut exploiter au mieux chaque string.

#### Avantages

Recherche du point de puissance maximale (MPP) pour chaque string.





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Désavantages

Influence de la perte de rendement d'un module (du à l'ombrage, à la saleté, ou à une défaillance) sur les performances des modules du string.

### → Onduleur multistring – un onduleur gère différents strings en parallèle

Dans ce cas, combinant en quelque sorte les configurations «string et centralisées», les entrées sont équipées chacune de leur propre MPPT. Les différents courants continus générés sont d'abord synchronisés avant d'être transformés en courant alternatif.

### Avantages

Association de string de natures différentes (types de cellules, orientation, nombres de modules,...) sans perturbation globale des performances.

Rendement nettement supérieur comparé à la configuration centralisée, en présence de string de natures différentes.

### → Onduleur modulaire – un onduleur par panneau

### Avantages

Facilité d'emploi.

Pas de câblage en courant continu.

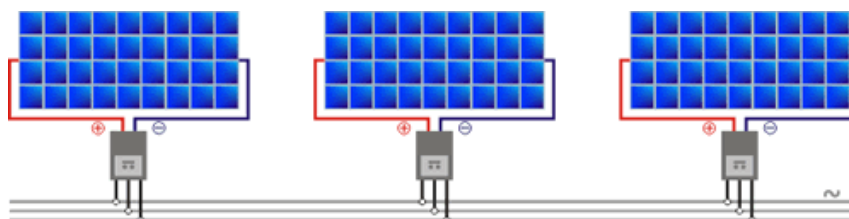
Indépendance de chaque module (l'ombrage d'un panneau et sa perte de rendement résultante n'affecte pas la production des autres panneaux. De même que la panne d'un onduleur n'influence pas les autres modules).

### Désavantages

Coût.

Maintenance : en général ce type d'onduleur est directement intégré au panneau. Sa défaillance entraîne le remplacement du panneau (hors la durée de vie de celui-ci est normalement supérieure à celle du panneau).

**Lorsque la puissance du générateur est grande, lorsque les cellules sont partiellement ombragées ou quand les modules présentent différentes inclinaisons et/ou orientations, on utilisera de préférence les onduleurs string (multistring) ou onduleurs modulaires.**



### 2.8.5.2. Montage et branchements

Le raccordement des différents modules entre eux peut s'effectuer soit en série soit en parallèle en fonction du lieu d'implantation et des caractéristiques d'entrée de l'onduleur.

Pour un montage en parallèle, les courants des différents modules s'additionnent et la tension reste identique.

Pour un montage en série, les tensions s'additionnent et le courant traversant reste le même.

### → Le montage en série (addition des tensions générées)

Ce type de montage permet :

- un montage rapide et aisé;
- une utilisation de petites sections de câbles sans augmenter les pertes de transport du courant continu. (les pertes de puissance sont en effet fonction de l'intensité du courant au carré).

Il conviendra essentiellement pour les installations les plus homogènes (sans ombrage, orientation identique, inclinaison identique, faible tolérance de la puissance des modules,...). Dans ce cas, la défectuosité, l'ombrage,... affecteront l'entièreté de la production des modules raccordés en série.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### → Le montage en parallèle (addition des courants générés)

Ce type de montage conviendra à l'inverse plus particulièrement pour des installations plus hétérogènes (ombrage, inclinaison et orientation différentes,...) ou quand les tensions autorisées par l'installation sont limitées.

En pratique, on essaie dans la limite du possible de rassembler en série le maximum de modules de caractéristiques identiques (strings).

De manière générale, on veillera à limiter la longueur et à bien dimensionner le câblage entre les modules. Un dimensionnement correcte du diamètre du câble permettra en effet d'éviter un échauffement trop important et par là des pertes de transports inutiles.

En charge partielle faible, c'est-à-dire lorsque le flux lumineux est faible, le rendement des onduleurs est plus bas.

Pour écourter le temps de travail en faible charge d'un seul onduleur, il est possible d'utiliser plusieurs onduleurs en communication. Le principe est simple : si l'éclairage est important, plusieurs onduleurs travaillent ensemble à pleine charge si par contre, l'éclairage est faible, un seul onduleur fait le travail !

Deux cas de figure sont possibles :

- suivant que les onduleurs s'allument et s'éteignent selon les besoins : principe « maître esclave ». Le raccordement est identique à la configuration centralisée.
- suivant que les strings soient répartis ou non sur différents onduleurs : « principe team ». Cette configuration est un prolongement de la configuration onduleur string.

### 2.8.6. Concevoir une installation photovoltaïque en rénovation

L'objectif est de répondre à un maximum des besoins selon les disponibilités de surface et financières.

Le choix d'une installation dépend essentiellement de :

- la surface disponible et sa configuration (taille, inclinaison, orientation)
- l'absence d'ombrage ou obstacle au rayonnement solaire
- la capacité financière disponible pour l'investissement
- les exigences techniques et esthétiques du maître d'ouvrage

#### 2.8.6.1. Choix de l'emplacement des capteurs

Dans tout projet de rénovation, avant de se lancer dans le projet d'une installation photovoltaïque, il est nécessaire de se poser quelques questions :

- Y a-t-il des surfaces inutilisées (toiture, façades, espace au sol...) qui pourraient être valorisées énergétiquement ?
- Ces surfaces sont-elles de grande dimension ? Sont-elles bien orientées ? Sont-elles ombrées ?
- En cas d'application en toiture, celle-ci est-elle encore en bon état ?

Le choix de l'emplacement des modules peut être fonction de plusieurs de ces facteurs :

#### → Surface disponible

La surface disponible déterminera la puissance génératrice qu'il est possible d'installer en fonction du type de cellule choisi. En général, la taille maximale de l'installation est limitée par la surface de toiture disponible. Une puissance de générateur de 1kWc nécessite les surfaces suivantes :

- 6 m<sup>2</sup> de cellules monocristallines (en considérant une puissance crête de 165 Wc/m<sup>2</sup>),
- 8 m<sup>2</sup> de cellules polycristallines (en considérant une puissance crête de 125 Wc/m<sup>2</sup>),
- 15 m<sup>2</sup> de cellules amorphes (en considérant une puissance crête de 66 Wc/m<sup>2</sup>).

#### → Orientation et inclinaison

Afin de maximiser la production d'électricité d'une installation, il convient d'orienter et d'incliner les modules de manière optimale afin de capter un maximum du rayonnement solaire.

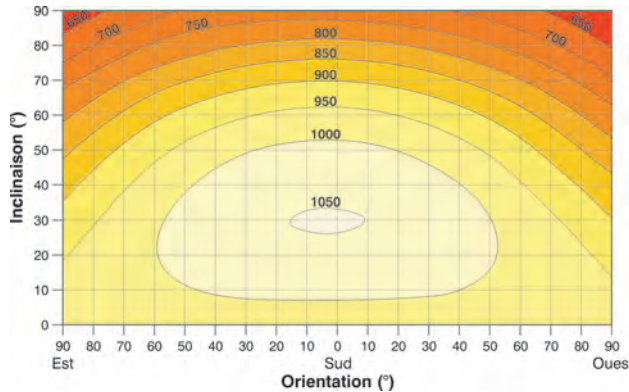
Des systèmes de tracking appelés aussi suiveur solaire permettent d'adapter continuellement l'inclinaison et l'orientation des panneaux. Ce type d'installation permet d'augmenter la production d'environ 25% par rapport à une installation fixe. Toutefois, ce type d'installation engendre un surcoût important.

#### Orientation

De façon générale, en hémisphère nord, on choisira de préférence une orientation Sud ou proche de celle-ci (Sud-Est ou Sud-Ouest).

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Les températures hautes étant nuisibles aux performances des panneaux, on préférera également une orientation Est à Ouest (température plus basse le matin).

### Inclinaison

En ce qui concerne l'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, l'approche se fonde sur la hauteur du soleil dans le ciel. Cette hauteur du soleil dépend à la fois de la latitude du projet et de la saison. L'énergie solaire reçue par une surface de modules sera plus importante si cette surface est perpendiculaire au rayonnement direct du soleil.

Orientation et inclinaison : facteur de correction

Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison de 35° par rapport à l'horizontal.

Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Pour chiffrer cette diminution de rendement, on applique un facteur de correction sur les kWh obtenus par an et par kWc. Les valeurs de ce facteur de correction sont données dans le tableau ci-dessous

© [www.ef4.be](http://www.ef4.be)

		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

### Système suiveur

Il existe des systèmes d'installation mobile appelés « suiveurs solaires » qui permettent d'assurer une production maximale d'électricité en suivant le soleil sur son parcours journalier (orientation et inclinaison). Un suiveur solaire peut avoir deux degrés de liberté de rotation : horizontal pour régler l'azimut et vertical pour l'inclinaison. Il existe différents types :

- le suiveur à un axe : permet (généralement) de suivre le soleil d'est en ouest,



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- le suiveur à deux axes : permet une modification de l'orientation et de l'inclinaison. Ce dernier cas nécessite l'intervention de deux moteurs.

Deux systèmes différents permettent le tracking :

- le système actif : muni d'une sonde d'éclaircissement, il permet une recherche instantanée de la position optimale. En cas de ciel couvert (rayonnement diffus), un tel système se met à l'horizontal, position dans laquelle la production est maximale par ce type de ciel.
- le système astronomique : la position est alors directement fonction du parcours solaire pré-programmé.

D'autres sondes (type anémomètre) permettent aux traqueurs d'adopter une position de sécurité en cas d'intempérie.

### → Ombrage

Bien au-delà de la perte de rendement que l'on peut avoir avec une mauvaise inclinaison ou une mauvaise orientation, l'ombrage sur les panneaux photovoltaïques est très pénalisant pour le rendement de ceux-ci. En effet, les modules sont constitués de cellules reliées en série.

Ce raccordement en série implique dès lors que la cellule qui a le plus faible rendement va déterminer et limiter la puissance de tout le module.

**Il est donc impératif de choisir un endroit qui soit le moins possible soumis aux ombres fixes provoquées par l'environnement et le bâti existant autour de la surface de captage.**

**Sur une toiture plate, on devra veiller tout particulièrement à l'ombrage généré par les panneaux entre eux.**

### → Type de pose

Plusieurs types de pose sont envisageables selon les disponibilités du lieu et des surfaces potentielles de captage

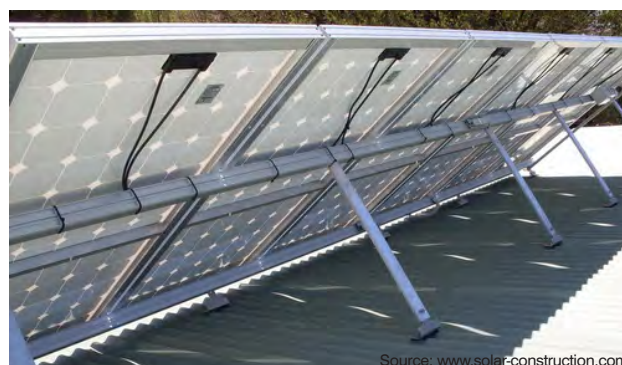
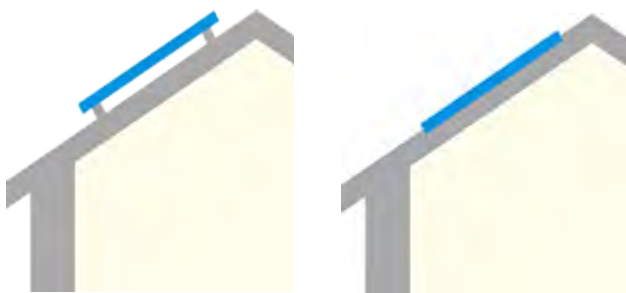
#### Toiture inclinée

En toiture inclinée, les panneaux sont attachés à la structure du toit au moyen de pattes métalliques. Les modules peuvent être soit placés en surimposition soit intégrés à la toiture.

Si les modules sont intégrés à la toiture, ils remplacent alors la couverture de la toiture comme peuvent le faire des tuiles solaires.

L'échauffement possible des cellules est, dans ce cas, un problème dont il faut tenir compte.

En cas d'intégration, la chaleur est plus difficilement dissipée par ventilation qu'en cas de surimposition.



Source: [www.solar-construction.com](http://www.solar-construction.com)

#### Toiture plate

**Attention, dans le cas d'une installation sur toiture plate, il est important et nécessaire :**

- de vérifier au préalable l'état de la toiture et des revêtements (étanchéité principalement) ;
- de vérifier que la structure existante ou la charpente puisse supporter la surcharge induite par les capteurs (80 à 100kg par m<sup>2</sup> de capteur) et leur lestage.

En toiture plate, les panneaux sont généralement disposés sur une structure en métal ou en plastique. Celle-ci permet d'obtenir un angle d'inclinaison optimisant la production de la surface utilisée tout en assurant la ventilation de l'arrière du panneau.

Certaines cellules de types «thin film» ont aussi vu le jour. Elles permettent une intégration directe à l'étanchéité d'une toiture plate et ne nécessitent donc pas le surpoids induit par le support. Si elles sont intéressantes tant au niveau de la mise en œuvre (un matériau pour deux fonctions) qu'au niveau économique, ces cellules présentent de plus faibles rendements et doivent de plus être implantées selon la configuration, ce qui influera sur leur productivité.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### Facade

Il est possible d'utiliser des modules photovoltaïques comme bardage de façade. Ce type de configuration entraîne une perte de production importante due à une réduction de l'exposition solaire (30% de moins que dans les conditions optimales). Comme en toiture inclinée, l'intégration ou la surimposition est possible.

### Protection solaire

Les cellules peuvent également être implantées sur des protections solaires fixes.



#### Remarque:

Dans le cas de bâtiments scolaires à rénover, on privilégiera les surfaces de toitures ou les surfaces de protections solaires fixes car ces surfaces ne sont pas en contact direct avec les enfants et sont mieux protégées contre les coups, les chocs ou un vandalisme éventuel.

### 2.8.6.2. Choix des modules et du raccordement

Le choix du module repose avant tout sur le type de cellule qui le compose.

Il est important de rappeler ici que toutes les technologies, quelle que soit leur provenance, ont été soumises à des tests sous les conditions STC (décrits dans les normes européennes). Cela permet une comparaison aisée des technologies en fonction de leur puissance crête.

Le choix du module dépend souvent de deux facteurs : la performance du module et l'aspect financier. Plus une cellule est performante, plus elle est chère et plus la production surfacique (kWh/m<sup>2</sup>) sera grande.

**De manière générale, on choisira le type de cellule du module en fonction de la surface disponible, de la production souhaitée et du coût. L'aspect esthétique et le type de pose peut également influencer le choix du module.**

Au niveau du raccordement, on essaiera, dans la limite du possible, de rassembler en série le maximum de modules de caractéristiques identiques (strings). On veillera également à limiter la longueur et à bien dimensionner le câblage entre les modules. Un dimensionnement correcte du diamètre du câble permettra en effet d'éviter un échauffement trop important et par là des pertes de transports inutiles.

### 2.8.6.3. Choix de l'onduleur

L'onduleur est un élément très important dans l'installation. La détermination de ses caractéristiques se fera naturellement en fonction du champ de capteur pris en charge. Chaque onduleur possède en effet des plages de fonctionnement précises qui devront impérativement correspondre aux caractéristiques du courant continu généré par les modules.

Le choix et le dimensionnement de l'onduleur tiendront compte de:

- la puissance maximale possible générée par les modules (on utilise généralement la puissance crête (conditions STC) minorée de 5 à 15 %).
- tensions minimales et maximales (on utilise généralement comme tension basse la tension générée en circuit ouvert à - 10 °C et comme tension maximale, la tension MPP à 70 °C).
- l'intensité maximum du courant

Suivant la taille de l'installation, il peut être nécessaire de démultiplier le nombre d'onduleurs. En général, un deuxième onduleur peut être prévu à partir de 5 kWc.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.8.6.4. Entretien et maintenance

L'entretien d'une installation photovoltaïque est très limité. Un nettoyage occasionnel reste conseillé.

Néanmoins, sa fréquence peut être influencée par de nombreux facteurs environnants : inclinaison, situation près de zone boisée, pollution, ... Un des avantages de cette technique est que, via la présence de compteurs, la production est facilement comptabilisée. Cela permet de détecter rapidement un fonctionnement anormal de l'installation.

Un suiveur solaire nécessite par contre un entretien plus important (moteurs, ...).

Un système photovoltaïque est un investissement à long terme puisque sa durée de vie est généralement supérieure à 25 ans et peut même atteindre 40 ans. Les fabricants, eux-mêmes, garantissent généralement qu'après 20-25 ans le module atteindra encore 80 % de sa puissance crête initiale.

Un onduleur a par contre une durée de vie plus limitée (de 10 à 15 ans).

### 2.8.6.5. Photovoltaïque et énergie grise (source: IEA-PVPS Task 10, EPIA European Photovoltaic Technology Platform)

Une étude sur l'impact environnemental du photovoltaïque dans les pays de l'OCDE réalisée par Hespul avec le soutien notamment de l'ADEME et de l'AIE montre qu'il faut, en Belgique, 3,21 ans pour qu'un système sur toiture produise l'énergie nécessaire à sa fabrication. Cette durée est appelée temps de retour énergétique. Pour une installation en façade, elle est estimée à 4,68 ans. Si l'on estime la durée de vie d'une installation à 30 ans, cela signifie que celle-ci aura produit 8,4 fois plus d'énergie que celle qui a été nécessaire à sa fabrication. Ce facteur appelé facteur de retour énergétique est de 5,4 pour les installations en façades.

Sur sa durée de vie, une installation photovoltaïque de 1 kWc en toiture permet d'éviter jusqu'à 8,5 tonnes de CO<sub>2</sub> (6,2 tonnes pour les installations en façade).

### 2.8.6.6. IEA Task 47 - Projets de rénovation exemplaires avec intégration de panneaux PV

Plusieurs projets de rénovation repris dans des projets exemplaires de la SUBTASK A ont intégré des panneaux photovoltaïques sur le toit ou en façade. Ces projets sont les suivants:

- Administration building Bruck/Mur - Autriche (140 m<sup>2</sup> on the roof)
- TU Vienna Plus Energy - Autriche (2246 m<sup>2</sup> on façades)
- Ecole à Schwanenstadt - Autriche (68 m<sup>2</sup> on the roof)
- Rockwool International Office Building - Hedehusene, Danemark (170 m<sup>2</sup> on the roof)
- Schüco Italian Headquarter - Italie (4550 m<sup>2</sup> on the roof)
- Rénovation d'école - Cesena, Italie (pv panels on the roof)
- Boligselskapet Sjælland Office Building - Danemark (130 m<sup>2</sup> on south façade)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.9. La récupération de chaleur sur le système de ventilation



*Si l'isolation et l'étanchéité à l'air d'un bâtiment sont performantes, les déperditions thermiques par les parois et par infiltration sont faibles. Les pertes par ventilation deviennent alors proportionnellement importantes. La ventilation mécanique double-flux, équipée d'un échangeur/récupérateur de chaleur permet de limiter fortement ces pertes.*

L'air neuf de ventilation, après avoir été porté à la température de confort à l'intérieur du bâtiment, est rejeté à l'extérieur alors qu'il a un niveau énergétique supérieur à l'air extérieur que l'on introduit. On parle d'une enthalpie (un contenu en chaleur) plus importante que l'air extérieur. L'idée est de transférer cette chaleur de l'air extrait vers l'air neuf.

Dans les locaux à forte densité d'occupation comme les locaux de classe, l'importance des débits d'air neuf demandés peut provoquer un certain inconfort thermique lorsque la température extérieure est basse.

Pour éviter la sensation de courant d'air froid, l'idéal est de pouvoir préchauffer l'air neuf à une température minimum qui doit être réglée en fonction des apports de chaleur gratuits.

Il existe différents moyens de préchauffer l'air neuf et la récupération de chaleur sur l'air extrait peut être une solution énergétiquement très intéressante. Elle permet en effet de récupérer de 50 à 85 % (en fonction du type de récupérateur choisi) de l'énergie rejetée par l'extraction d'air. Il faut également tenir compte du fait que le récupérateur ne peut à lui tout seul reprendre l'entièreté des besoins en préchauffage :

- parce qu'en plein hiver, la température de l'air neuf atteinte risque d'être insuffisante. Si on récupère 50 % de l'énergie rejetée, la température atteinte, par  $-10^{\circ}\text{C}$  extérieurs, ne sera que de  $5^{\circ}\text{C}$  (pour une température de l'air rejeté de  $20^{\circ}\text{C}$ );
- parce que par grand froid, l'air rejeté, en cédant sa chaleur, risque de descendre en dessous de  $0^{\circ}\text{C}$ , entraînant des risques de givre sur la batterie d'échange. Pour éviter cela, une régulation du récupérateur est nécessaire, ralentissant l'échange lorsque la température de l'air rejeté descend trop, c'est-à-dire par grand froid et donc lorsque les besoins en préchauffage sont les plus importants.

Il est donc, la plupart du temps, nécessaire de doubler le récupérateur par une batterie de préchauffage traditionnelle.

**Même si un récupérateur n'est pas toujours rentable dans le sens des financiers qui exigent un retour de 3 ans, en aucun cas un récupérateur ne représente pas une dépense, puisqu'il se récupère toujours sur sa durée de vie par les économies d'énergie générées. Investissons donc dans la technologie plutôt que dans le combustible...**

#### 2.9.1. Principes

Le récupérateur de chaleur est doté d'un échangeur permettant un transfert de chaleur. L'air vicié et l'air neuf de l'extérieur passent par cet échangeur. La chaleur de l'air vicié évacué à l'extérieur est utilisée pour préchauffer l'air entrant venant de l'extérieur. Seule la chaleur est transférée. Les deux flux n'entrent pas en contact l'un avec l'autre.

Cet échange thermique réduit considérablement la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer l'air de l'extérieur frais à une température de pulsion confortable. En effet, un récupérateur de chaleur peut récupérer de 70 à 80 % (voire 90 à 95 % pour les plus performants) de la chaleur de l'air vicié et la transférer au flux entrant d'air neuf.

En rénovation, le placement d'un récupérateur de chaleur sur l'air extrait implique au préalable un système de ventilation à double flux où le ventilateur d'extraction se situe à proximité du ventilateur de pulsion.

*Exemple:*

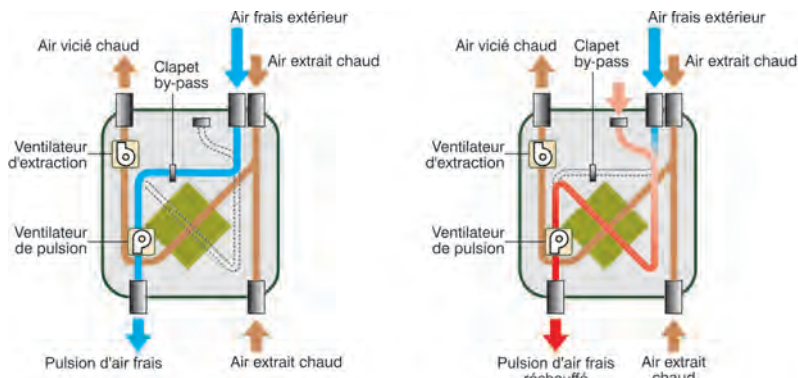
*Pour un échangeur avec un rendement thermique de 80%: si l'air extérieur est à  $0^{\circ}\text{C}$  et celle de l'air intérieure à  $20^{\circ}\text{C}$ , après passage dans l'échangeur de chaleur, l'air pulse est à  $16^{\circ}\text{C}$  sans qu'aucune consommation de chaleur ne soit requise.*

#### 2.9.2. Le récupérateur de chaleur

##### 2.9.2.1. Les types de récupérateur

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Il existe quatre types de récupérateur :

### → Les «Caloducs»

Le caloduc est un superconducteur de chaleur fonctionnant en cycle fermé selon le principe évaporation - condensation, avec retour de liquide soit par gravité, soit par capillarité. Son intérêt provient de la valeur très élevée de la chaleur latente de changement de phase comparée à la chaleur spécifique. Il est constitué d'une enceinte hermétiquement scellée, contenant un fluide frigorigène. Le choix du fluide caloporteur dépend de la température de travail prévue.

Le flux d'air chaud circulant dans la partie inférieure du tube cède sa chaleur au fluide liquide et le porte à ébullition. La vapeur ainsi formée monte dans la partie haute du tube où elle se trouve en contact avec l'air froid. Le gaz va se condenser sur la paroi interne du tube en cédant sa chaleur de condensation, puis va retomber naturellement par gravité dans la partie inférieure pour un nouveau cycle.

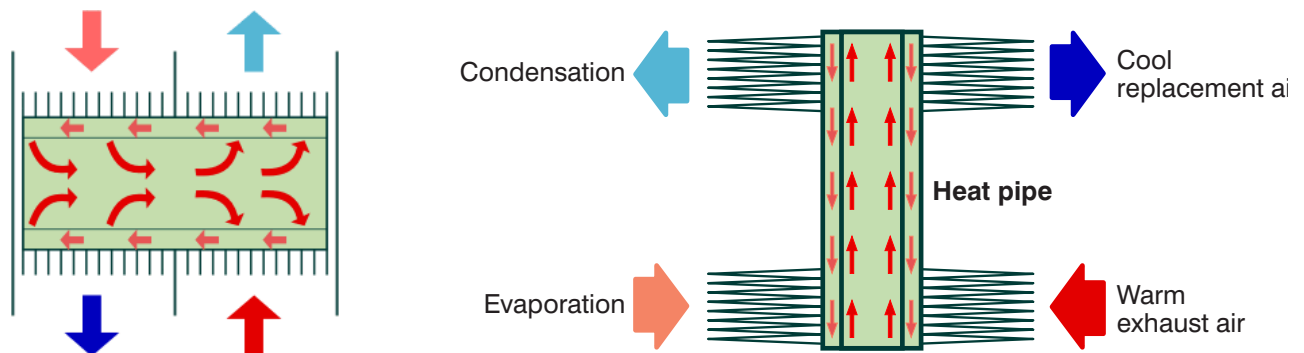
*De nombreux caloducs toujours en fonctionnement travaillent avec un fluide frigorigène de la catégorie des chlorofluorocarbures (CFC) actuellement interdits dans les nouveaux matériels.*

La disposition verticale est caractéristique du type à gravité. Il existe également des tubes horizontaux où la circulation se fait par capillarité. Ce dernier système est alors réversible et peut donc fonctionner en été.

Ce type de récupérateur se caractérise par sa faible masse, l'absence de pièces en mouvement et un encombrement réduit. Les conduits d'air repris et d'air neuf doivent cependant être proches.

### → Les «Echangeurs à plaques»

L'échangeur de chaleur est constitué de plaques, de tubes ou de gaufrages de type «nid d'abeilles», de faible épaisseur en aluminium ou matière plastique qui séparent les veines d'air. Le matériau utilisé pour la fabrication des plaques est



variable : verre (insensible à la corrosion mais est lourd et cassant), aluminium, acier inoxydable ou matériau synthétique. Les plaques sont assemblées entre elles par collage ou soudage et placées dans un châssis rigide. L'épaisseur d'une plaque oscille généralement entre 0,1 et 0,8 mm, la distance entre les plaques est très faible, entre 5 et 10 mm, et les courants sont généralement croisés. Afin de maximiser l'échange convectif, les plaques peuvent être gaufrées et créer de la sorte une turbulence. En faisant varier la dimension des plaques et leur nombre, on peut obtenir de multiples variantes.

On peut également :

- augmenter la longueur de l'échangeur ce qui à la place d'un échange classique à courants croisés autorise un échange



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



mixte à courants croisés et contre-courant. On parle d'échangeur à plaque double.

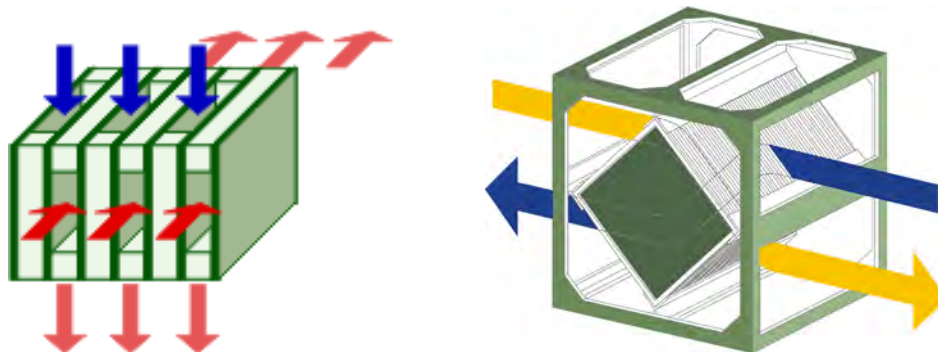
- monter en série deux échangeurs de chaleur fonctionnant là aussi en courants croisés / contre-courant. Si les échangeurs de chaleur sont montés en série, les circulations des veines d'air sont telles que les raccordements tant de l'air neuf que de l'air repris restent au même niveau, ce qui est toujours préférable.

Pour prévenir une surchauffe, la récupération de chaleur doit pouvoir être interrompue en été ou en mi-saison : un by-pass devra être prévu.

Lorsque les surfaces de l'échangeur sont suffisamment froides (température inférieure à la température de rosée de l'air extrait), la vapeur d'eau contenue dans l'air extrait se refroidit et se condense, ce qui a pour conséquence l'augmentation du transfert de chaleur. Pour éliminer la condensation, les plaques sont souvent placées verticalement. Les groupes doivent alors être superposés, et des contraintes d'emplacement apparaissent.

Pour des températures extérieures très basses, les condensats peuvent même geler. Pour éviter ces problèmes de gel et de surchauffe une régulation est donc à prévoir.

De même, vu les risques d'encrassement, des filtres sont à prévoir, tant sur la veine d'air neuf que sur la veine d'air repris. L'encrassement de l'installation pouvant provoquer outre une diminution de la transmission de chaleur, également un changement dans le type d'écoulement d'air. Il faut donc prévoir un entretien régulier du récupérateur.



→ Les «Echangeurs à eau glycolée» (voir image ci-dessous - gauche)

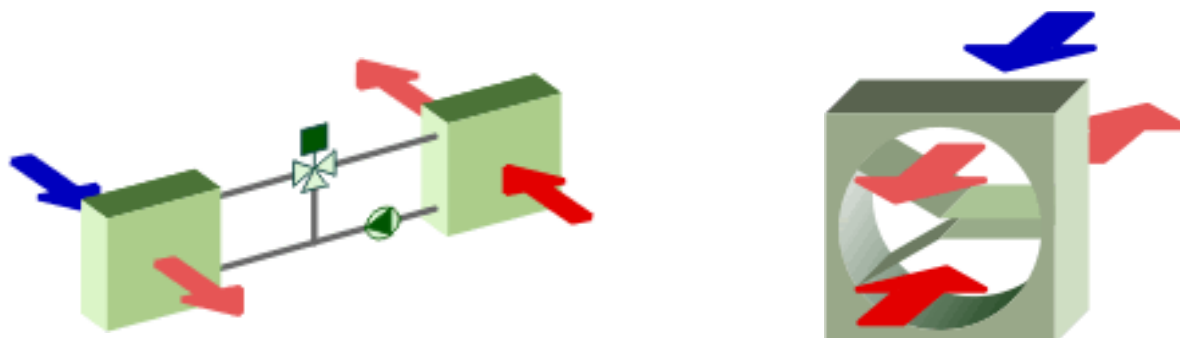
Le récupérateur à eau glycolée est constitué de deux batteries, en général constituées de tubes en cuivre et d'ailettes en aluminium (éventuellement cuivre/cuivre ou l'ensemble en acier galvanisé), placées l'une dans le groupe d'extraction, l'autre dans le groupe de pulsion.

La distance entre ailettes est de 1,6 mm à 6 mm ce qui, vu la longueur habituelle des échangeurs, nécessite tant sur l'air neuf que sur l'air repris, un filtre de classe G3 monté chaque fois en amont de l'échangeur.

étant donné l'encombrement non seulement de chaque échangeur mais également du filtre et des pièces de transformations entre l'échangeur et les conduits aérauliques en amont et en aval ainsi que la place nécessaire pour changer le filtre et nettoyer l'échangeur, on doit pouvoir disposer d'une longueur totale de 3,5 à 4 m, distance dont on ne dispose pas toujours pour l'installation, après coup, d'un échangeur, d'où la nécessité de veiller préalablement à ce point. Par ailleurs il est toujours judicieux de prévoir l'isolation thermique des pièces de raccordement aux conduits aérauliques.

→ Les «Echangeurs par accumulation» (voir image ci-dessous - droite)

Le principe général des récupérateurs par accumulation ou encore appelé récupérateurs à régénération est de récupérer la chaleur contenue dans l'air extrait en faisant transiter cet air au travers d'un matériau accumulateur. Ce matériau accumulateur est ensuite soumis au flux d'air neuf et lui cède sa chaleur. Le matériau accumulateur peut être imprégné ou



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



non d'un produit hygroscopique de manière à permettre les échanges tant de chaleur sensible que d'humidité. Il existe plusieurs types de récupérateur appliquant cette technique.

### 2.9.2.2. Les caractéristiques de chaque type

Critères	Boucle à eau glycolée	Echangeur à plaques	Caloduc	Echangeur par accumulation
Nécessité de placer des conduits d'air côte-à-côte	NON	OUI	OUI	OUI
Possibilité d'échange d'humidité	NON	NON	NON	OUI
Existence de pièces en mouvement (risque de pannes)	OUI	NON	NON	OUI
Rendement en chaleur sensible	40 - 80%	50 - 85%	50 - 60%	75 - 95%
Encombrement spécifique En m pour 10 000m <sup>3</sup> /h	0.5 - 1	1.5 - 2	0.5	0.5 - 2
Danger de gel	OUI	OUI	OUI	NON
Mélange entre l'air neuf et l'air vicié	NON	NON	NON	OUI
Perte de charge type En Pa	150 - 250	120 - 250	180	150

Source: site Energie Plus - <http://www.energieplus-lesite.be>

### 2.9.2.3. Rendement et gain énergétique

L'efficacité d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur dépend d'abord de l'étanchéité à l'air du bâtiment. Dans le cas d'un bâtiment peu étanche à l'air, le système est partiellement court-circuité par diverses fuites : une partie de l'air chauffé est évacuée par les fuites vers l'extérieur sans passer par l'échangeur et une partie de l'air entre directement dans le bâtiment sans être préchauffé dans l'échangeur.

**Pour assurer l'efficacité du système de ventilation avec récupérateur de chaleur, une bonne étanchéité à l'air est essentielle. Cette étanchéité doit au minimum atteindre  $\eta_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$**

Par ailleurs, l'efficacité du système est déterminée par le rendement thermique de l'échangeur, l'efficacité des ventilateurs et la perte de charge à compenser (dépend de la conception du réseau de distribution).

Il est dès lors important d'imposer dans le cadre de mesures énergétiques sur la rénovation d'effectuer un choix de récupérateur suivant certains critères dont :

- Un rendement thermique minimal;
- Une puissance spécifique des ventilateurs.

Le recours à un récupérateur atteignant un rendement en température de plus de 90 % et équipé d'un système de régulation permettant une récupération sur l'ensemble de la saison de chauffe (gestion du dégivrage) permet une économie d'investissement sur les batteries de post-chauffe et sur l'installation d'une production de chaleur.

## 2.9.3. Installation en rénovation de bâtiments scolaires

Dans le cas de bâtiments scolaires en rénovation, deux cas peuvent se présenter :

### 2.9.3.1. Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation double flux sans récupérateur de chaleur

Dans une installation existante, étant donné les coûts élevés d'achat et de placement d'un récupérateur, les frais d'exploitation en consommation d'énergie des pompes, ventilateurs et accessoires et les coûts d'entretien des équipements, la rentabilité à court terme du placement d'un récupérateur peut être difficile. Pour autant que techniquement ce soit possible en rénovation, l'adaptation d'un système de récupération de chaleur sur l'air extrait est d'autant plus intéressante que l'on a :

- des débits élevés (+ de 10 000 m<sup>3</sup>/h);
- un usage permanent de l'installation de ventilation ;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



- des besoins thermiques élevés ;
- un ventilateur et son moteur surdimensionnés au départ, ce qui peut éviter de pourvoir au remplacement des poulies et du moteur pour maintenir les débits prescrits..

Si on ne remplace pas le groupe de traitement d'air, seule la solution de l'échangeur à eau glycolée est réaliste avec un minimum d'intervention technique. Elle a aussi l'avantage de ne pas imposer la proximité entre les prises et les rejets d'air. Il faudra cependant parfois adapter la section des conduits au droit des batteries pour adapter éventuellement la vitesse de l'air. Si on remplace l'entièreté du groupe de traitement d'air, n'importe quel type de récupérateur peut être installé (situation d'un bâtiment neuf)

*Remarque :*

*Le récupérateur de chaleur implique cependant :*

- *Un investissement supplémentaire lors de la rénovation ;*
- *Un encombrement plus important en termes d'espaces techniques ;*
- *Une augmentation des pertes de charge de l'installation*

### 2.9.3.1. Le bâtiment n'est pas équipé d'un système de ventilation

L'installation d'une ventilation double-flux et son réseau de tuyaux d'air n'est pas sans impact sur l'organisation des espaces et la localisation de zones et gaines techniques. L'encombrement des gaines et conduites est assez important au niveau de l'échangeur et au niveau des conduites. Un faux-plafond peut s'avérer nécessaire dans les circulations, halls d'entrée et locaux sanitaires.

Une bonne conception du réseau est également indispensable pour assurer d'une part le rendement de l'échangeur et d'autre part le confort acoustique des enseignants et élèves. **Cela signifie que l'installation d'un système de ventilation doit obligatoirement être considérée très rapidement dans le projet de rénovation.**

Deux solutions peuvent être envisagées :

→ **L'installation d'unités décentralisées, chaque unité desservant un local.**

Dans ce cas, il peut être intéressant d'intégrer l'unité de ventilation dans un espace technique placé dans l'isolation de la façade si celle-ci doit être renforcée ou refaite (élément de façade préfabriqué intégrant des éléments techniques – voir ECBCS Annex 50 « Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings »)

Ces unités décentralisées présentent un investissement financier plus important mais elles ont l'avantage de présenter une flexibilité plus importante en termes d'utilisation, gestion et maintenance.

→ **L'installation d'un système centralisé au sein du bâtiment.**

Dans ce cas, certains points doivent être étudiés en profondeur : le dimensionnement de l'installation, le choix de l'échangeur et des ventilateurs et la conception du réseau intérieur.

#### **L'échangeur**

- l'échangeur – ainsi que les ventilateurs – doivent être localisés de manière centrale pour limiter la longueur des conduites, proches des bouches de prises d'air extérieur et des rejets d'air intérieur et situés dans un local limitant la propagation des nuisances sonores
- l'accès à l'échangeur doit être facile pour l'entretien et le remplacement des filtres ;
- une évacuation des condensats doit être prévue ainsi qu'une alimentation électrique ;
- prévoir une certaine distance entre l'échangeur et la sortie des gaines (hors du local) afin de pouvoir positionner des silencieux si nécessaire ;
- l'échangeur est toujours équipé d'un by-pass pour pouvoir pulser de l'air à la température de l'air extérieur quand c'est souhaitable (en cas de surchauffe par exemple) ;
- un système de dégivrage doit être prévu en cas de température extérieure trop basse ;

### 2.9.4. Maintenance et entretien

La maintenance du système de récupération de chaleur est un point important qui contribue à atteindre les gains d'énergie annoncés sur la durée de vie de l'équipement. Entre autres, la propreté de l'échangeur est un des points à ne pas négliger. En effet, l'encrassement des surfaces d'échange aura deux conséquences néfastes sur la récupération : la réduction du coefficient d'échange de chaleur et la réduction des débits d'air.

L'entretien des filtres est à effectuer entre 2 à 4 fois par an selon la taille de l'installation.

### 2.10. Le préchauffage/rafraîchissement de l'air par puits canadien



Le puits canadien / provençal est un système géothermique qui utilise la chaleur du sol pour préchauffer ou refroidir l'air neuf de ventilation. En effet, alors que la température de l'air extérieur peut varier, en Europe de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$  tout au long de l'année, la température du sol, à 2 mètres de profondeur, reste stable, entre 5 et  $15^{\circ}\text{C}$  en moyenne et suivant les saisons.

Le principe est de faire circuler de l'air neuf de ventilation dans un conduit enterré grâce à un ventilateur avant de le pulser dans le bâtiment :

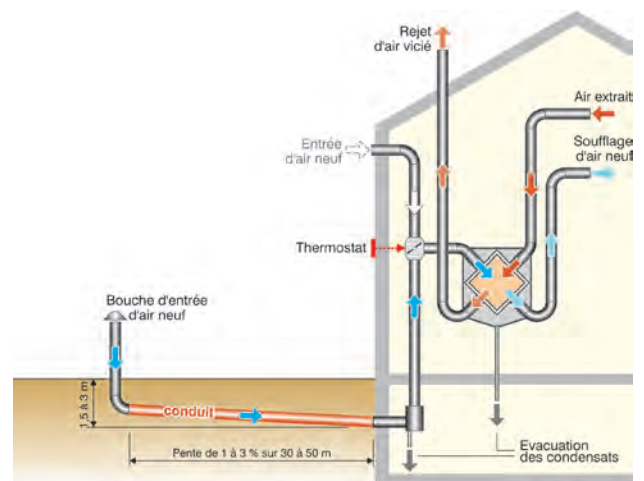
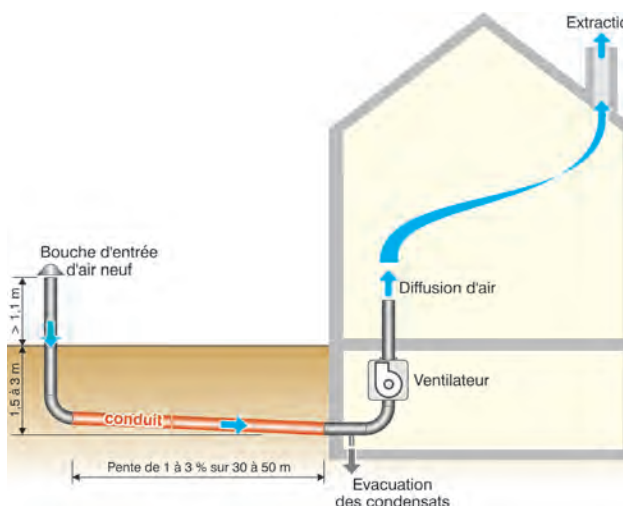
- en hiver, l'air se réchauffe lors de son parcours dans le conduit et, par conséquent, réduit les besoins énergétiques de réchauffe; c'est le puits canadien ;
- en été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et, par conséquent, permet d'améliorer le confort thermique d'été; c'est le puits provençal

Le puits canadien permet une économie de l'ordre de 20 à 25 % de la consommation énergétique liée au chauffage de l'air neuf (5 à 10 % de la consommation totale de chauffage) et un rafraîchissement en période chaude.

Si cette installation technique peut être intéressante dans le cas de bâtiments neufs, elle s'applique difficilement dans le cas de bâtiments scolaires devant être rénovés. En effet, les travaux de terrassement nécessaires à l'implantation des conduits de ventilation sont importants et nécessitent souvent l'emploi d'engins de chantier importants : pelleuse, camions... Ils sont donc difficilement compatibles avec le fonctionnement des espaces extérieurs et des cours de récréation (qui se situent généralement autour des bâtiments scolaires) mais aussi avec la sécurité des enfants. Ces travaux ont aussi un coût important, ce qui rend souvent ce type d'installation peu rentable.

Il est également à noter que lorsque le puits est couplé avec un récupérateur de chaleur et un système de ventilation mécanique double flux, son efficacité devient négligeable par rapport à celle du récupérateur de chaleur. On privilégiera donc le récupérateur de chaleur. Pour ces différentes raisons, nous n'aborderons pas davantage cette thématique dans la présente publication. Néanmoins, nous proposons quelques ouvrages de référence :

- **Guide Bâtiment Durable**, Bruxelles Environnement, Bruxelles - <http://guidebatimentdurable.bruxellesenvironnement.be/fr/index?IDC=3>
- **Energie Plus website** - [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)
- **Les puits canadiens / provençaux, guide d'information**, CETIAT (Centre techniques des industries aéronautiques et thermiques, janvier 2008



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.11. Techniques et efficacité énergétique - Méthode BREEAM

Pour évaluer les aspects liés aux «Techniques et l'efficacité énergétique», la méthode BREEAM propose 5 critères repris dans la section environnementale «ENERGY» avec une pondération de xx% dans l'évaluation:

- ENE 01: Réduction des émissions (voir chapitre 1 «Confort et qualité de vie»)
- ENE 02: Suivi de la consommation d'énergie (monitoring)
- ENE 03: Eclairage extérieur
- ENE 04: Technologies à «faible ou zéro carbone»
- ENE 07: Systèmes de laboratoire énergétiquement efficaces

C'est pourquoi, un aperçu de ces critères est présenté ci-après.

Pour plus d'informations : <http://www.breeam.org/page.jsp?id=381>

#### 2.11.1. ENE 02 - Suivi de la consommation énergétique

Cette question vise à reconnaître et encourager l'installation de sous-compteurs d'énergie qui facilite le suivi de la consommation d'énergie opérationnelle. Cette question est obligatoire pour atteindre un niveau minimum, mais pour la construction/rénovation de l'école, seul le premier crédit doit être atteint.

Critères	Nombre de crédits	Explication
Suivi énergétique	1 crédit	<p>The following major energy consuming systems (where present in the school building) are monitored using either a Building Energy Management System (BEMS) or separate accessible energy sub-meters with a pulsed output to enable future connection to a BEMS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Space Heating</li> <li>- Domestic Hot Water</li> <li>- Humidification</li> <li>- Cooling</li> <li>- Fans (major)</li> <li>- Lighting</li> <li>- Other major energy-consuming items where appropriate</li> </ul> <p>The end energy consuming use is identifiable to the building user through labelling or data output.</p>

#### 2.11.2. ENE 03 - Eclairage extérieur

Cette question vise à reconnaître et à encourager la prescription de luminaires économes en énergie pour les zones extérieures du projet. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum.

Critères	Nombre de crédits	Explication																			
Eclairage extérieur	1 crédit	<p>All external fittings, where provided, within the construction zone meet the lighting requirements as given below:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">External lighting location</th> <th colspan="2">Light fittings measured in lamp lumens/circuit Watt, when:</th> <th colspan="2">LED luminaires where the lamp is integral to the fitting measured in luminaire lumens/circuit Watt, when:</th> </tr> <tr> <th>Colour rendering index (Ra) ≥ 60</th> <th>Colour rendering index (Ra) &lt; 60</th> <th>Colour rendering index (Ra) ≥ 60</th> <th>Colour rendering index (Ra) &lt; 60</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Building, access ways, pathways</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Car parking, associated roads, flood-lighting</td> <td>70</td> <td>80</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>External light fittings are controlled through a time switch, or daylight sensor, to prevent operation during daylight hours. Daylight sensor override on a manually switched lighting circuit is acceptable</p>	External lighting location	Light fittings measured in lamp lumens/circuit Watt, when:		LED luminaires where the lamp is integral to the fitting measured in luminaire lumens/circuit Watt, when:		Colour rendering index (Ra) ≥ 60	Colour rendering index (Ra) < 60	Colour rendering index (Ra) ≥ 60	Colour rendering index (Ra) < 60	Building, access ways, pathways	50	60	40	50	Car parking, associated roads, flood-lighting	70	80	55	60
External lighting location	Light fittings measured in lamp lumens/circuit Watt, when:			LED luminaires where the lamp is integral to the fitting measured in luminaire lumens/circuit Watt, when:																	
	Colour rendering index (Ra) ≥ 60	Colour rendering index (Ra) < 60	Colour rendering index (Ra) ≥ 60	Colour rendering index (Ra) < 60																	
Building, access ways, pathways	50	60	40	50																	
Car parking, associated roads, flood-lighting	70	80	55	60																	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### 2.11.3. ENE 04 - Technologies à «faible ou zéro émission carbone»

Cette question vise à réduire les émissions de carbone et la pollution atmosphérique en encourageant la production d'énergie à partir de sources renouvelables locales pour fournir une proportion importante de la demande d'énergie. Cette question est obligatoire pour atteindre un niveau minimal et fournit un maximum de 5 crédits. Cette question est divisé en trois parties:

Critères	Nombre de crédits	Explication
Etude de faisabilité	1 crédit	<p>1. A feasibility study has been carried out by an energy specialist to establish the most appropriate local (on-site or near-site) low or zero carbon (LZC) energy source for the building/development.</p> <p>This study covers as a minimum:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy generated from LZC energy source per year</li> <li>- Life cycle cost of the potential specification, accounting for payback</li> <li>- Local planning criteria, including land use and noise</li> <li>- Feasibility of exporting heat/electricity from the system</li> <li>- Any available grants</li> <li>- All technologies appropriate to the site and energy demand of the development</li> <li>- Reasons for excluding other technologies.</li> </ul> <p>- Where appropriate to the building type, connecting the proposed building to an existing local community CHP system or source of waste heat or power OR specifying a building/site CHP system or source of waste heat or power with the potential to export excess heat or power via a local community energy scheme.</p> <p>2. A local LZC energy technology has been specified for the building/development in line with the recommendations of the above feasibility study.</p> <p>3. The feasibility study has been carried out at RIBA stage C (concept design) or equivalent procurement stage.</p> <p>or</p> <p>4. The organisation that occupies the building has in place a contract with an energy supplier to provide electricity for the assessed building/development from a 100% renewable energy source. This supply must be delivered by an accredited external renewable source. The contract must be valid for a minimum of 3 years from the date the assessed building becomes occupied.</p>
Prescription et installation de technologies à faible émission de carbone	jusqu'à 4 crédits	<p>Criteria 1 to 3 must be achieved.</p> <p>5. A local LZC energy technology has been installed in line with the recommendations of the feasibility study and this method of supply results in a reduction in regulated CO<sub>2</sub> emissions as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 credits : 10 % reduction in regulated CO<sub>2</sub> emissions</li> <li>- 3 credits: 20 % reduction in regulated CO<sub>2</sub> emissions</li> <li>- exemplary level : 30% reduction in regulated CO<sub>2</sub> emissions</li> </ul> <p>or</p> <p>6. Where the feasibility study includes a Life Cycle Assessment of the carbon impact of the chosen LZC system(s), accounting for its embodied carbon emissions and operational carbon savings and emissions, and this method of supply results in a reduction in life cycle CO<sub>2</sub> emissions as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 credits : 10 % reduction in life cycle CO<sub>2</sub> emissions</li> <li>- 4 credits: 20 % reduction in life cycle CO<sub>2</sub> emissions</li> <li>- exemplary level : 30% reduction in life cycle CO<sub>2</sub> emissions</li> </ul> <p>The LCA study must be completed in accordance with ISO 14044:2006 Environmental Management Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines</p> <p>7. The LCA must consider a 60 year period (a typical assumption for the life of a building) and any necessary replacements/maintenance requirements within this period</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 2. TECHNIQUES ET EFFICACITE ENERGETIQUE



Refroidissement passif	1 crédit	<p>8. Where, regardless of the percentage reduction in the building's CO<sub>2</sub> emissions from LZC sources and number of BREEAM credits achieved above, the building utilises ANY of the following free cooling strategies and the first credit within the BREEAM issue Hea 03 Thermal comfort has been achieved:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Night-time cooling (requires fabric to have a high thermal mass)</li> <li>- Ground coupled air cooling</li> <li>- Displacement ventilation (not linked to any active cooling system)</li> <li>- Ground water cooling</li> <li>- Surface water cooling</li> <li>- Evaporative cooling, direct or indirect</li> <li>- Desiccant dehumidification and evaporative cooling, using waste heat</li> <li>- Absorption cooling, using waste heat.</li> <li>- The building does not require any form of cooling (i.e. naturally ventilated)</li> </ul>
------------------------	----------	---

### 2.11.4. ENE 07 - Systèmes de laboratoires énergétiquement efficaces

Cette question vise à reconnaître et à encourager les espaces de laboratoires qui sont conçus pour minimiser les émissions de CO<sub>2</sub> liées à leur consommation énergétique. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un seuil minimal.

Critères	Nombre de crédits	Explication
Laboratoires énergétiquement performants	1 crédit	<p>For school buildings:</p> <p>Recirculatory filtered fume cupboards (as oppose to ducted fume cupboards) are specified as the preferred option for the majority of applications</p> <p>If ducted fume cupboards are specified, the fume cupboards have a face velocity of less than or equal to 0.5 m/s .</p> <p>The specification of fume cupboards has been carried out in accordance with all relevant european guide- lines and recommendations.</p>





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES

<b>1.</b>	<b>Réduire la consommation d'eau potable</b>	<b>235</b>
1.1.	La consommation d'eau dans les écoles	236
1.2.	Conscientiser les acteurs et modifier les comportements	237
1.2.1.	<i>Conscientiser les enfants sur la nécessité de boire de l'eau et sur la ressource en eau</i>	237
1.2.2.	<i>Inciter à boire l'eau du robinet</i>	237
1.2.3.	<i>Installation de fontaines d'eau sous l'angle de l'hygiène</i>	237
1.2.4.	<i>Bien choisir les produits d'entretien</i>	238
1.3.	Actions pour une gestion durable de l'eau...	238
1.4.	Utilisation rationnelle, concevoir ou améliorer l'installation sanitaire pour minimiser les consommations tout en préservant la qualité de l'eau	239
1.4.1.	<i>Limiter la perte d'eau à l'école, la chasse aux fuites d'eau</i>	239
1.4.2.	<i>Concevoir et installer un réseau d'eau de qualité</i>	239
1.4.3.	<i>Installer des équipements économes en eau</i>	240
1.5.	Récupération et utilisation d'eau de pluie	241
1.5.1.	<i>Récupération de l'eau de pluie – principe de fonctionnement</i>	241
1.5.2.	<i>Filtration de l'eau de pluie</i>	243
1.5.3.	<i>La récupération et le stockage de l'eau de pluie</i>	244
1.5.4.	<i>Alimentation, distribution et groupe hydrophore (pompe)</i>	246
1.5.5.	<i>L'eau de pluie à l'école: informer et sécuriser</i>	248

Image: Catherine Massart

<b>2.</b>	<b>Alimenter la ressource «eau» et réduire le ruissellement</b>	<b>249</b>
2.1.	Principes d'une gestion intégrée des eaux pluviales	249
2.2.	Gestion des eaux pluviales sur la parcelle de terrain	250
2.2.1.	<i>Les indicateurs utiles</i>	250
2.2.2.	<i>L'aménagement végétal de la parcelle</i>	251
2.2.3.	<i>Le choix des matériaux de revêtement de sol (abords, circulations, parkings)</i>	251
2.3.	Systèmes de rétention et d'infiltration des eaux pluviales	251
2.3.1.	<i>La noue</i>	252
2.3.2.	<i>Le bassin sec</i>	253
2.3.3.	<i>Le massif</i>	253
2.3.4.	<i>Le puits</i>	254
2.3.5.	<i>Les toitures stockantes</i>	255
2.3.6.	<i>Principes de dimensionnement</i>	255
<b>3.</b>	<b>Contrôler la consommation de ressources naturelles</b>	<b>257</b>
3.1.	Les différentes ressources naturelles	258
3.1.1.	<i>Les ressources naturelles non énergétiques</i>	258
3.1.2.	<i>Les ressources issues du recyclage</i>	258
3.1.3.	<i>Les ressources énergétiques</i>	258
3.1.4.	<i>La disponibilité des ressources</i>	259
3.1.5.	<i>Exploitation soutenable de la ressource «bois» - labels FSC et PEFC</i>	260
3.2.	La notion d'énergie grise	261
3.2.1.	<i>Définition de l'énergie grise</i>	261
3.2.2.	<i>Rapport entre «énergie grise» et «énergie d'opération»</i>	261
3.2.3.	<i>Rapport entre «énergie grise» et durée de vie</i>	262
3.2.4.	<i>Remarque : ressources énergétiques fossiles et matières premières</i>	262
3.2.5.	<i>Principes d'économie d'énergie grise</i>	263
3.3.	Impacts environnementaux des matériaux de construction	263
3.3.1.	<i>Pollution atmosphérique</i>	263
3.3.2.	<i>Impact sur les paysages et la biodiversité</i>	266
3.3.3.	<i>Production de déchets</i>	266
3.3.4.	<i>Impact sur la santé</i>	267
3.4.	Choix des matériaux: objectifs et actions en rénovation	268
3.5.	Principes directeurs lors du choix des matériaux et principes constructifs	269
3.5.1.	<i>Rationaliser l'usage des matériaux de construction lors du projet de rénovation</i>	269
3.5.2.	<i>Optimiser l'entretien et le maintien des performances pendant la durée de vie du bâtiment</i>	270
3.5.3.	<i>Optimiser la fin de vie en rénovation: faciliter la déconstruction, favoriser le tri et le réemploi</i>	270
3.5.4.	<i>Limiter l'appauvrissement des ressources en développant 3 axes: économie de matière, choix et origine de la matière et réutilisation de la matière</i>	271
3.6.	Impact environnemental, écobilan et outils d'évaluation environnementale	272
3.6.1.	<i>Ecobilans et analyse de cycle de vie</i>	272
3.6.2.	<i>Outils d'évaluation environnementale</i>	273
<b>4.</b>	<b>Réduire la consommation des ressources - la méthode BREEAM</b>	<b>278</b>
4.1.	WAT 01 - Consommation d'eau	
4.2.	WAT 02 - Suivi de la consommation d'eau	
4.3.	WAT 03 - Détection des fuites et prévention	
4.4.	MAT 01 - Impacts environnementaux sur le cycle de vie	
4.5.	MAT 02 - Matériaux de revêtement extérieurs (délimitation et pavements)	
4.6.	MAT 03 - Approvisionnement responsable de matériaux	

- 4.7. MAT 04 - Matériaux d'isolation
- 4.8. MAT 05 - Conception favorisant la solidité et durabilité
- 4.9. POL 03 - Ruissellement des eaux de surface



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.1. Réduire la consommation d'eau potable



L'eau en tant que ressource est une problématique majeure du développement durable, car elle est intimement liée à la survie de tout être vivant sur Terre. Selon l'OMS et l'UNICEF, avoir un accès raisonnable à l'eau signifie qu'«il est possible d'obtenir régulièrement au moins 20 litres d'eau par habitant et par jour» et que «la source est située à moins d'un kilomètre de l'endroit de son utilisation» (OMS, 2008; WHO & UNICEF, 2003).

Cette problématique touche l'ensemble des secteurs d'activité dans le monde: l'alimentation, la santé, l'agriculture et l'industrie, y compris l'industrie de la construction. Mais cette problématique influe également et largement sur l'équilibre d'une part des écosystèmes et de la biodiversité et d'autre part sur l'équilibre géopolitique entre pays.

Pour exemple:

- des milliards de personnes, principalement dans les pays en voie de développement, puisent leur eau directement dans les rivières, les lacs, les sources et zones humides;
- les poissons d'eau douce peuvent fournir jusqu'à 70 % des protéines animales dans de nombreux pays en voie de développement.

Aujourd'hui, « l'eau est une ressource mondiale en crise »<sup>1</sup>. Cette crise est à la fois provoquée par les catastrophes naturelles d'origine météorologique ou hydrologique et par l'appauvrissement de la ressource résultant de l'augmentation de la population et des activités humaines, notamment la consommation d'énergie fossile, le réchauffement climatique ou encore la mauvaise gestion du territoire. Le défi concernant la ressource en eau est de savoir comment gérer celle-ci tout au long de son cycle, à l'échelle locale comme à l'échelle globale.

#### → Accessibilité et disponibilité de l'eau douce dans le monde et en Europe

L'eau est une ressource répartie inégalement en qualité, en quantité et en accessibilité à la surface de la Terre, en raison du climat, du paysage, de la géologie et des moyens économiques et technologiques propres à chaque pays.

Suivant les chiffres de l'UNESCO, en 1995, environ 1,8 milliard de personnes vivaient dans des zones subissant un stress hydrique sévère c.-à-d. sans accès à une eau de qualité en quantité suffisante. Ce chiffre continu d'augmenter et les prévisionnistes des Nations Unies prévoient qu'en 2025, la moitié de la population soit privée d'eau potable si rien n'est fait pour enrayer le processus.

La pénurie d'eau ou le « stress hydrique » désigne pour un pays ou une région la disponibilité annuelle en eau par habitant. Lorsqu'un pays ou une région atteint le stade du « stress hydrique », cela signifie qu'il ou elle a atteint la limite de ses capacités pour répondre aux besoins des écosystèmes et des êtres humains. Cette limite se situe entre 1700 et 2500m<sup>3</sup>/pers/an. Au vu des deux cartes à la page suivante, on remarque que de nombreux pays ont déjà atteint cette limite soit pour une raison d'approvisionnement ou de renouvellement faible en eau, soit pour une raison de densité de population importante, soit pour ces deux raisons.

On remarque également que de nombreux pays européens ne disposent que de 1700 à 5000 m<sup>3</sup> d'eau douce renouvelable par habitant et par an et sont à la limite – ou l'ont déjà dépassée – du stress hydrique. La densité démographique et la superficie importante de surfaces imperméables expliquent en partie ce phénomène. Ayant pris conscience de cette situation, il devient urgent de gérer de manière respectueuse et rationnelle nos ressources en eau.

#### → Exploitation des ressources en eau

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, la population mondiale est passée de 1,7 milliard d'individus en 1900 à plus de 6 milliards en l'an 2000. Durant cette période, la demande en eau a été multipliée par six<sup>2</sup>.

En 1950, la ressource mondiale en eau était estimée à 17 000 m<sup>3</sup> par personne et par an. Du fait de la forte croissance démographique couplée à l'industrialisation, l'urbanisation et l'intensification agricole, la ressource en eau renouvelable et disponible n'était plus que de 7 500 m<sup>3</sup> par personne et par an en 1995.

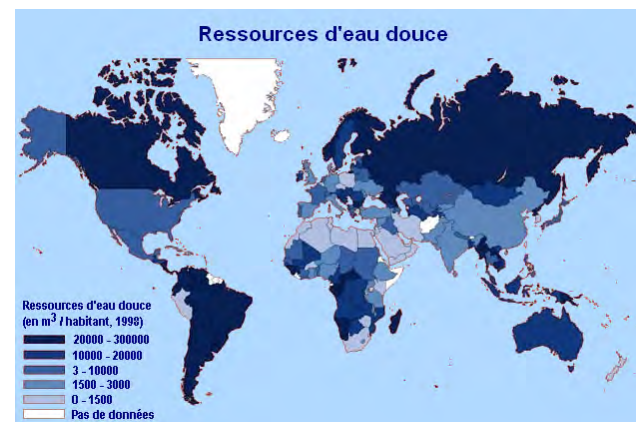
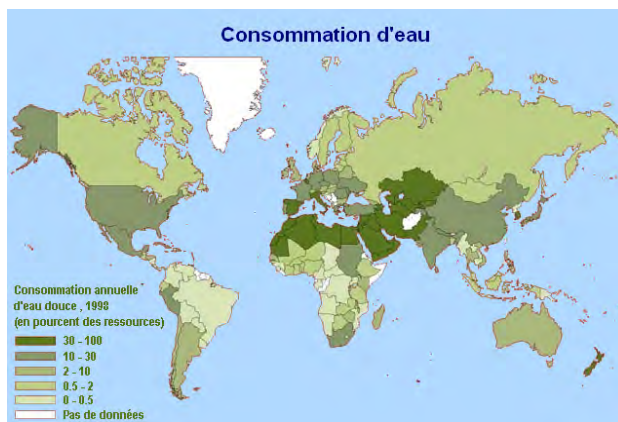
Elle devrait chuter à moins de 5 100 m<sup>3</sup> en 2025 (source : Eurostat 2002). Dans les pays de l'Union Européenne, les ressources moyennes en eau s'établissent à 7000 m<sup>3</sup> par personne et par an (source : Eurostat 2002).

1 Source: [MAHAUT 2009]

2 Source: « Dossier eau » disponible sur <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Cette importante augmentation de la consommation en eau est due non seulement à la l'augmentation de la population, mais aussi à l'augmentation de la demande moyenne en eau par habitant – conséquence de l'accès de plus en plus aisé à l'eau potable et du développement industriel et agricole.

Aujourd'hui, à l'échelle mondiale, les hommes prélèvent presque 5000 kilomètres cubes d'eau douce chaque année pour leurs différents usages. L'eau est ainsi au cœur de la plupart des activités humaines. Les activités agricoles, notamment l'irrigation et l'élevage, sont les principales sources de consommation d'eau dans le monde. Elles totalisent environ 70 % de la consommation mondiale. L'eau est également utilisée dans de nombreux processus industriels, par exemple dans les secteurs de la chimie, de la métallurgie, et de l'industrie du papier et du carton. Enfin, l'eau est consommée pour des usages domestiques par les collectivités (écoles, hôpitaux, lavage des rues) et les foyers (hygiène, nettoyage, alimentation).

**Pour nos besoins fondamentaux (boisson, toilette et cuisine) – nous avons besoin de 5 l/personne/jour. Pour une qualité de vie raisonnable et une bonne santé publique – nous avons besoin jusqu'à 80 l/personne/jour pour la lessive et l'élimination des déchets. Or la consommation domestique moyenne d'eau en Europe se situe entre 150 et 200 litres par jour, selon les régions et la situation. L'essentiel de cette consommation est utilisé pour l'hygiène et l'alimentation des sanitaires.**

### → Pollution des ressources en «eau»

La pollution de l'eau reste, elle, un élément inquiétant. Pesticides, nitrates, nitrites, matières organiques, phosphates sont quelques-uns des polluants retrouvés dans les eaux souterraines ou de surface. Si la qualité des masses d'eau souterraines est encore bonne dans la plupart des cas, celle des eaux de surface reste problématique à plusieurs endroits.

Un approvisionnement adapté en eau de bonne qualité étant indispensable à la qualité de vie et nécessaire au progrès économique et social, il convient de s'atteler à deux tâches: apprendre à économiser l'eau et gérer nos ressources disponibles de manière plus soutenable. Ces notions doivent être acquises par les enfants dès leur plus jeune âge

Utiliser l'eau de façon responsable fait la part belle aux gestes de prévention, tant pour diminuer notre consommation que pour diminuer la pollution des eaux usées que nous rejetons.

### 3.1.1 La consommation d'eau dans les écoles

*La Cour des comptes (Belgique) a sondé 56 écoles fondamentales autonomes de la Communauté française, qui offrent à la fois un enseignement maternel et primaire. Ces établissements dépensent par an et par élève 202 euros pour la consommation d'énergie et 18,38 euros pour l'eau. Pour ce qui est du gaz et du mazout, le coût moyen est de 140 euros par élève mais, note la Cour, 6 écoles doivent y consacrer plus du triple et 4 autres moins de la moitié. Les consommations électriques annuelles atteignent quant à elles 59,92 euros par élève. Trois établissements dépensent moins de la moitié de ce montant alors que 5 dépendent plus du triple. La Cour pointe dès lors une consommation par an et par élève qui peut varier de 10,6 euros à 455,8 euros.*

*Pour ce qui est de la consommation d'eau, la Cour épingle des «variations marquées». La consommation d'un établissement (141,6 euros par élève) est 8 fois supérieure à la moyenne. Sept écoles consacraient également moins de 10 euros par élève à leur consommation d'eau alors que pour 5 autres, la dépense était trois fois supérieure à la moyenne.*

Source: <http://www.lalibre.be/economie/actualite/article/719503/ecoles-des-disparites-fortes-dans-la-consommation-d-energie.html>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.1.2. Conscientiser les acteurs et modifier les comportements

La consommation domestique de l'eau a considérablement augmenté en un siècle. En 1900, chaque habitant consommait entre 15 et 20 litres par jour pour l'ensemble de ses besoins. Aujourd'hui, la consommation domestique atteint 150 à 200 litres par jour, selon les régions et les situations. L'essentiel de cette consommation se répartit de manière suivante :

- l'hygiène (40 %)
- l'alimentation des sanitaires (25%);
- le nettoyage et la lessive (30%);
- l'alimentation (5%).

Or 55% de nos besoins ne nécessitent pas une eau d'une telle qualité que l'eau potable.

Certaines collectivités telles que les hôpitaux, les halls sportifs, les piscines... consomment également de très grandes quantités d'eau potable.

Au niveau des écoles, il est essentiel de conscientiser à la fois les enseignants et les enfants à la fois sur leur consommation d'eau, sur la pollution de l'eau et sur une utilisation rationnelle de cette ressource indispensable à notre vie sur Terre.

Une politique d'utilisation rationnelle de l'eau potable doit être mise en place au travers de gestes simples et par l'installation d'équipements économes.



Source: cieau.com



Source: autosanit.com

#### 3.1.2.1. Conscientiser les enfants sur la nécessité de boire de l'eau et sur la ressource en eau

Cette prise de conscience peut se faire au travers de différents cours et peut au niveau global de l'école devenir le thème d'une année scolaire.

Quelques questions peuvent trouver réponse :

- L'eau du robinet et la santé ?
- D'où vient l'eau que nous buvons ?
- Qu'est-ce que le cycle de l'eau ?
- Boissons en bouteilles ou en canettes, quels impacts sur l'environnement et la santé ?

Cette prise de conscience peut également passer par une évaluation et une analyse de ce qui se passe dans l'école en termes de consommation d'eau et production de déchets liés à la consommation de boissons.

#### 3.1.2.2. Inciter à boire l'eau du robinet

De nombreux enfants arrivent à l'école avec dans leur cartable des bouteilles d'eau en plastique, des berlingots de jus de fruit,... Il est essentiel, en ce qui concerne une politique d'utilisation rationnelle de l'eau potable et une politique de réduction des déchets, de supprimer les distributeurs de boissons sucrées et de privilégier l'utilisation de l'eau du robinet à l'école en incitant :

- les enfants à utiliser une gourde;
- les enseignants à donner l'accès à l'évier de la classe pour que les enfants se désaltèrent au moment de la collation ou au retour des récréations. Chaque enfant peut disposer de son verre réutilisable qu'il laisse en classe.

#### 3.1.2.3. Installation de fontaines d'eau sous l'angle de l'hygiène

On peut également installer des fontaines à eau dans l'école. Elles sont directement branchées sur le circuit de distribution d'eau. On privilégiera la fontaine d'eau à jet vertical. En actionnant un bouton sur le bord du bac en acier, un jet d'eau « en cloche » est propulsé, permettant à l'enfant de boire en évitant le contact direct avec le mécanisme. C'est un système hygiénique qui permet de fournir une boisson de qualité aux écoliers, sans utiliser de gobelets inutiles.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.1.2.4. Bien choisir les produits d'entretien

Limiter la consommation d'eau d'une école est une politique citoyenne indispensable mais il est également important de veiller à la qualité des eaux qu'on rejette :

- en ne jetant pas n'importe quoi dans les éviers, les sanitaires et dans les égouts: restes d'aliments, emballages, produits de bricolage, restes de peinture...
- en n'abusant pas des détergents. En effet, si ces produits nettoient, ils salissent aussi l'environnement. Il faut donc limiter leur consommation en ne dépassant pas les doses indiquées et en préférant des produits de composition simple et respectueux de l'environnement

### 3.1.3. Actions pour une gestion durable de l'eau au niveau de la parcelle et du bâtiment

A l'opposé de la banalisation de « l'eau de ville » et du « tout à l'égout », une meilleure inscription du projet dans le cycle de l'eau demande une gestion à l'échelle de la parcelle, plus consciente et attentive, qui prenne également en compte la question de l'entretien. Elle se décline en quatre actions principales interconnectées:

#### → L'économie d'eau

Les dispositifs d'économie d'eau sont des dispositifs qui ne requièrent qu'un faible surcoût d'investissement, qui préservent le confort de l'utilisateur et qui réduisent les coûts de consommation.

#### → La récupération de l'eau de pluie

L'utilisation d'eau de pluie pour des usages ne requérant pas de l'eau potable peut s'avérer une solution écologiquement intéressante. Selon les conditions locales du projet, elle peut également dégager des économies. Cependant c'est à mettre en regard avec le coût d'installation/rénovation de la citerne et de double circuit.

#### → La gestion des eaux pluviales sur la parcelle

Contrairement à l'assainissement traditionnel visant à les évacuer au plus vite vers l'aval dans le réseau d'égouts, les dispositifs de gestion des eaux pluviales sur la parcelle visent à les restituer au milieu naturel le plus en amont possible. On privilégiera par ordre de priorité :

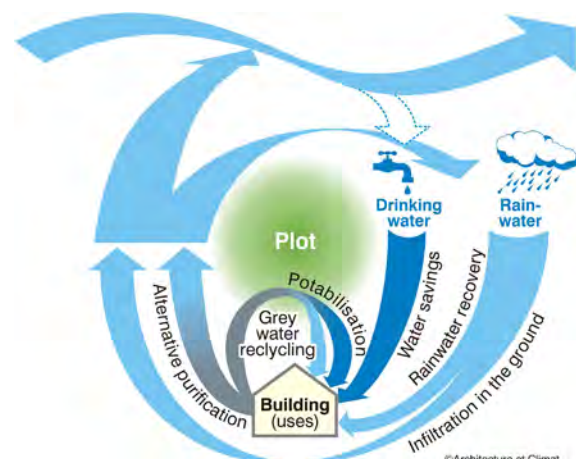
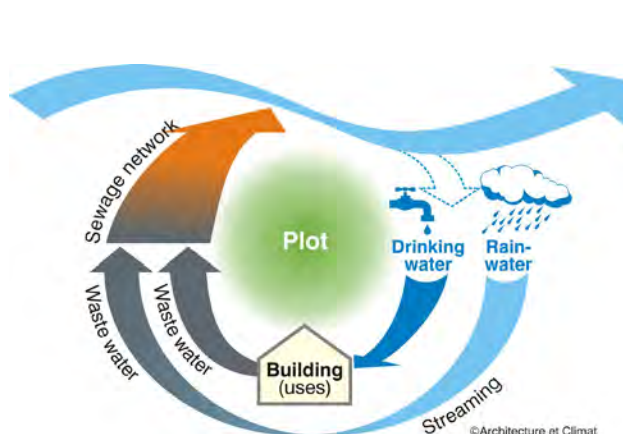
- Leur évaporation, évapotranspiration, et infiltration directe dans le sol si les conditions le permettent,
- Leur rétention suivie de leur infiltration ou de leur dérivation pour un usage se satisfaisant d'eau de pluie,
- Leur rétention suivie d'un écoulement à débit régulé.

#### → Le recyclage des eaux usées (grises et noires)

Le recyclage des eaux usées (grises et/ou noires) peut être envisagé localement. Les eaux usées peuvent être facilement traitées afin d'être réutilisées au lieu d'être rejetées directement aux égouts.

En milieu urbain dense, la quantité d'eau récoltée sur les toitures est souvent trop faible pour couvrir l'ensemble des besoins répondant à cette qualité d'eau.

Plutôt que de couvrir l'appoint avec de l'eau de distribution, il est possible de réutiliser les eaux usées recyclées, notamment pour le nettoyage des bâtiments, l'arrosage des espaces et l'alimentation des sanitaires.





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.1.4. Utilisation rationnelle de l'eau, concevoir ou améliorer l'installation sanitaire pour minimiser les consommations tout en préservant la qualité de l'eau.

Les toilettes, les douches, les robinets, les conduites d'eau et les appareils ménagers sont quelques-uns des «engloutisseurs» d'eau auxquels il faut s'attaquer. Et ce, tout autant chez les particuliers que dans toutes les structures ou bâtiments qui accueillent des personnes ou des enfants comme les écoles, les piscines, les salles de sports, les bibliothèques, ...

#### 3.1.4.1. Limiter la perte d'eau à l'école, la chasse aux fuites d'eau

Les robinets qui fuient et les chasses d'eau qui coulent peuvent peser lourd dans le budget d'une école.

Fuites d'eau	Quantité gaspillée - données moyennes
Goutte à goutte	4 litres par heure
Fin filet d'eau	16 litres par heure
Filet d'eau	63 litres par heure
Fuite sur la chasse wc	25 litres par heure

Source: fiche informative «Faire un usage rationnel de l'eau» Guide pour la construction et rénovation de petits immeubles, IBGE [Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement], 2007.

Il est donc indispensable de pouvoir au plus vite localiser une fuite d'eau sur le réseau de distribution de l'école.

Pour pouvoir détecter rapidement une fuite d'eau, il convient de :

- vérifier la qualité du réseau de distribution au niveau de son étanchéité lors de la rénovation
- avoir une bonne connaissance du réseau de distribution tel qu'il a été réellement mis en œuvre sur chantier (sur base de plans graphiques)

#### → Vérification du réseau de distribution – chantier

Avant le début des travaux de rénovation et en fin de chantier, l'entrepreneur effectuera, par mise sous pression du réseau de distribution, une vérification de celui-ci afin de :

- détecter les fuites éventuelles sur le réseau existant avant rénovation
- vérifier la réparation des fuites éventuelles
- vérifier les mises en œuvre (nouveau réseau ou extension du réseau existant) défectueuses pouvant occasionner des fuites

#### → Connaissance du réseau de distribution

Une bonne connaissance du réseau de distribution est essentielle en termes de gestion, de maintenance et de surveillance de celui-ci.

Pour ce faire, le concepteur veillera à obtenir un plan du réseau de distribution et d'évacuation tel que implanté lors de la construction ou tel que réalisé / modifié sur le chantier de rénovation.

Ce plan doit contenir les informations suivantes :

- l'implantation des colonnes de distribution et d'évacuation
- les robinets d'arrêt au pied des colonnes, numérotés et étiquetés
- les différents regards
- les différents embranchements

#### → Vérification, entretien et maintenance des installations

Dans le cadre d'une gestion soutenable des équipements d'une école, il est impératif de très régulièrement vérifier l'ensemble du réseau de distribution et les équipements. Lorsqu'un problème est détecté (fuite, défaillance d'un équipement,...), il est nécessaire d'intervenir rapidement et de réaliser les réparations ou le remplacement afin d'éviter un gaspillage d'eau.

#### 3.1.4.2. Concevoir et installer un réseau d'eau de qualité

Il s'agit d'assurer la qualité de l'eau dans l'installation intérieure depuis le compteur jusqu'aux points de puisage et de protéger le réseau public.

Une installation bien conçue est une installation qui :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES






- Comprend un réseau de distribution aussi court que possible;
- Comprend un minimum d'éléments à "risques" tels que coudes, raccords...
- Evite les bras morts, la corrosion due à la présence de métaux différents, l'altération de l'eau par des matériaux problématiques tels que le plomb et la contamination par des eaux non potables (eau de pluie, ...)
- Est repérable et accessible de manière à faciliter sa gestion, sa maintenance et sa surveillance. Les problèmes éventuels sont aisément repérés et les réparations et autres interventions n'entraînent pas de destructions
- Est régulièrement entretenue

### 3.1.4.3. Installer des équipements économes en eau

Il s'agit la plupart du temps de dispositifs induisant un surcoût d'investissement faible ou nul, regroupés ci-dessous en quatre familles :

- Le réseau d'adduction et ses accessoires :  
*Réducteurs de pression, proximité entre les points de puisage et les préparateurs d'eau chaude sanitaire, détecteur de fuites...*
- La robinetterie et ses accessoires :  
*Limiteurs de débit, robinet automatique,...*
- Les équipements économes en eau pour un service équivalent :  
*Toilettes à rinçage économique ou à dépression; urinoirs sans eau, ...*
- Les appareils sanitaires induisant un usage économe :  
*Lave-vaisselle dans les cantines et réfectoires, machines à laver dans les crèches...*

Dispositifs d'économie d'eau		Compatibilité avec une installation existante	Economie d'eau	Autres avantages environnementaux	Coûts d'investissement (€)	Affecte les habitudes
Installation d'adduction	Proximité des préparateurs d'eau chaude sanitaire	OUI	0.16 litres/puisage/mètre de canalisation	Economie d'énergie (ECS) et de matière de canalisation	/	NON
	Réducteur de pression 	OUI	2 à 9.5 litres/min pour un robinet en fonction de la pression	Augmente la durée de vie de l'installation	50 à 250	NON
	Détecteur de fuites	OUI	35m³/an pour un goutte à goutte	Economie de matière en évitant les dégâts des eaux	/	OUI
Robinetterie et accessoires	Limiteur de débit dynamique 	OUI	55% pour une douche économique	Economie d'énergie (ECS)	Sans surcoût	NON
	Mitigeur (eau froide en position centrale)	OUI	20% par rapport à un mitigeur traditionnel	Economie d'énergie	75 à 100	NON
	Robinet automatique 	OUI	60% (mécanique) 69% (infrarouge)	Economie d'énergie en cas d'utilisation d'eau chaude	75 à 250	NON

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Equipements sanitaires	Urinoir sans eau 	OUI	100% par rapport à un urinoir classique	Augmente la durée de vie des canalisations d'évacuation	500 à 600	NON
	Chasse double touche 	OUI	53% par rapport à une chasse de 9 litres	Diminue la dilution de la pollution	75 à 100	OUI
Appareils sanitaires	Fontaines d'eau 	OUI	Evite le gaspillage	Bon pour la santé, limite les déchets	450 à 1400	OUI
	Evier à deux bassins 	OUI	Evite le gaspillage	Economie d'énergie	/	OUI

Source: fiche informative «Faire un usage rationnel de l'eau» Guide pour la construction et rénovation de petits immeubles, IBGE [Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement], 2007.

### 3.1.5. Récupération et utilisation de l'eau de pluie

L'utilisation de l'eau de pluie constitue une réponse intéressante sur le plan économique et écologique : elle réduit la consommation d'eau de distribution et donc la quantité d'eau pompée des nappes phréatiques, elle diminue l'usage d'adoucisseurs (appareils destinés à réduire la dureté de l'eau) et d'adoucissant et diminue la dilution des eaux usées dans les égouts...

L'utilisation de l'eau de pluie est non seulement intéressante pour les particuliers, mais également pour le milieu industriel ou dans le cadre de bâtiments dépendant d'une administration communale (bureaux, écoles, piscines, bibliothèques...).

L'eau de pluie récoltée dans une école servira prioritairement au nettoyage de l'école, à l'arrosage des espaces verts et le cas échéant à l'alimentation des sanitaires en prenant toutes les mesures de précaution en termes de prévention et d'hygiène (surtout pour les plus petits).

#### 3.1.5.1. Récupération de l'eau de pluie – principe de fonctionnement

L'eau de pluie tombant sur le toit est collectée via les gouttières et les descentes d'eau. Puis, elle passe au travers d'un premier filtre afin d'éliminer la poussière et des particules avant d'être stocké dans le réservoir. Une pompe envoie l'eau stockée vers les divers appareils et robinets.

La citerne d'eau de pluie est constituée de:

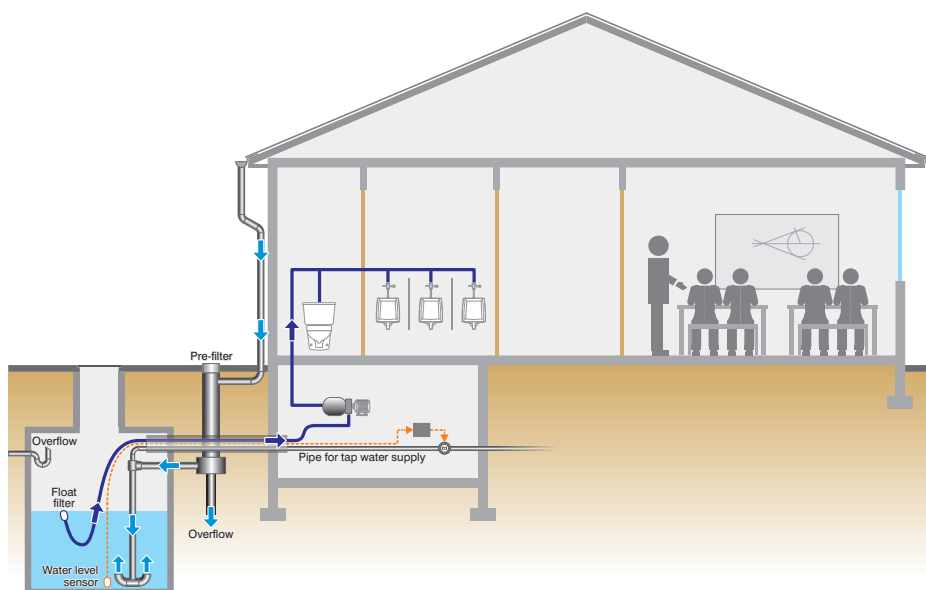
- un système de trop plein en cas de débordement de la citerne (gros orages successifs) ;
- un système d'approvisionnement en eau potable

Le choix du matériau de la citerne, de sa capacité, le choix des équipements et les surfaces de toiture à raccorder à la citerne sont des éléments qui doivent être étudiés et appréciés en fonction de la consommation souhaitée en eau de pluie.

L'eau de pluie est le plus souvent récoltée via les surfaces de toitures des bâtiments. La pente de toiture, l'orientation ainsi que le revêtement vont influencer le volume d'eau récolté :

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### → Pente et orientation

La pente de toiture et son orientation ont une influence sur la quantité d'eau récoltée.

- Pente de 0 à 30° : coefficient de pente de 1 quelle que soit l'orientation;
- Pente de 30° : coefficient de pente de 0.75 à 1.25 en fonction de l'orientation;
- Pente de 40° : coefficient de pente de 0.64 à 1.36 en fonction de l'orientation;
- Pente de 45° : coefficient de pente de 0.57 à 1.43 en fonction de l'orientation;
- Pente de 55° : coefficient de pente de 0.48 à 1.52 en fonction de l'orientation;
- Pente > à 55° : coefficient de pente de 0.45 à 1.55 en fonction de l'orientation.

### → Revêtement de toiture:

Chaque surface de toiture soumise aux précipitations est caractérisée par un coefficient de ruissellement qui dépend de la rugosité de la surface, de sa pente, de l'état de saturation du revêtement, etc. On peut considérer les coefficients suivants en fonction de deux types de pluie :

Type de revêtement	Coefficient de ruissellement	
	Pluie courante	Pluie intense
<b>Toiture en pente</b>		
Revêtement en ardoises	0.85	1.00
Revêtement en bitume	0.88	1.00
Revêtement métallique	0.88	1.00
Revêtement synthétique	0.88	1.00
Revêtement en tuiles	0.85	1.00
Revêtement en tuiles émaillées	0.93	1.00
<b>Toiture plate</b>		
Revêtement en bitume	0.75	1.00
Revêtement en gravier	0.60	1.00
Toiture verte extensive 5cm	0.50	1.00
Toiture verte extensive 10cm	0.50	1.00
Toiture verte intensive (20 à 40 cm)	0.20	1.00

Source: IBGE - Comparaison de mesures alternatives pour la gestion des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle - fiche informative - OUTIL GESTION EAU DE PLUIE OGE12, Auteur: V. Mahaut

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Images : Tatiana De Meester, Sophie Trachte

### 3.1.5.2. Filtration de l'eau de pluie

Les systèmes de filtration permettent d'obtenir une eau de qualité suffisante pour l'alimentation des sanitaires, le nettoyage et/ou l'arrosage des espaces verts. La filtration de l'eau de pluie récoltée en toiture se fait en deux étapes :

#### → Pré-filtration

Avant l'entrée de l'eau dans la citerne, on place un préfiltre dont la taille des mailles est inférieure à 2 cm afin d'éviter une arrivée excessive de matériaux organiques dans la citerne, qui pourraient y fermenter et dégager une odeur nauséabonde, obligeant un nettoyage fréquent.

Ces préfiltres peuvent être situés au niveau de la surface de collecte, de la gouttière, de la descente d'eau ou dans le sol, ces derniers étant alors munis d'un regard pour l'entretien éventuel. Certains fabricants proposent des solutions intégrant le préfiltre à la citerne. Les préfiltres autonettoyants seront préférés aux filtres non autonettoyants qui nécessitent un entretien régulier.

Ils sont munis d'une grille fine en inox qui retient les feuilles et autres particules et laisse passer environ 90% de l'eau vers la citerne. Les 10% d'eau restant emportent les saletés vers une seconde évacuation. Ces filtres peuvent prendre différentes formes de puits, de cyclone ou de préfiltre vertical dans une descente d'eau. Le rendement d'un préfiltre est le pourcentage d'eau filtrée par rapport à la quantité totale d'eau de pluie qu'il reçoit. Ce rendement peut diminuer par faute d'entretien

#### → Post-filtration

Si un pré-filtrage est suffisant pour le fonctionnement, un filtrage après le groupe hydrophore s'avère nécessaire pour protéger les appareils installés en aval contre les bouchons ou amas de particules en suspension.

On placera un filtre mécanique pour retenir les particules fines :

- 1 à 9 microns : machines à lessiver
- 15 à 20 microns : WC



Attention, il faut veiller à nettoyer régulièrement les filtres, en fonction de la quantité et de la qualité de l'eau filtrée. Il faut également veiller à la bonne étanchéité à l'air de ceux-ci car ils peuvent permettre le développement de bactéries.

	Image	Description	R (%)	Prix indicatif (euros)	Remarques
Descente d'eau		<p><b>Collecteur filtre</b></p> <p>Corps en zinc, cuivre ou matière plastique, à placer sur une descente d'eau pluviale, pouvant filtrer l'eau d'une toiture allant jusqu'à 180 m<sup>2</sup>. Filtre en inox dans les parois de la gouttière, un filtre est nécessaire à chaque descente</p> <p>Adapté aux descentes de 80, 87, 100 ou 110 mm. Besoin d'une hauteur de chute de min. 1 m. Raccordement vers la citerne: 50 mm</p>	70 à 90	180 à 270	<p>Facile à installer sur des descentes existantes (rénovation)</p> <p>Le rendement descend à 65% en cas de forte pluie</p>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



<b>Soi</b>	 <p>Picture © www.eaurigine.fr</p>	<p><b>Filtre enterré</b></p> <p>Corps en plastique et filtre en inox. Filtre auto-nettoyant ou munis d'un panier à vider régulièrement.</p> <p>Convient pour des toitures allant de 350 m<sup>2</sup> à 1500 m<sup>2</sup>.</p> <p>Ajustable en hauteur grâce à une rehausse télescopique. Couvercle marchable ou carrossable.</p>	95 à 100	300 à 1000 selon la capacité	Nécessite de la profondeur, ce qui n'est pas toujours possible en rénovation
		<p><b>Filtre duo</b></p> <p>Dispositif enterré pour les toitures jusqu'à 350 m<sup>2</sup>, comprenant un préfiltre de 5 mm et un filtre de 0.5 mm ou 1 mm.</p> <p>Pour un système enterré, les filtres sont complétés par des rehausse et couvercles. Peut également être placé dans une chambre de visite.</p>	99	430 avec rehausse et couvercle 265 sans	Système horizontal nécessitant moins de hauteur

Source: IBGE - Comparaison de mesures alternatives pour la gestion des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle - fiche informative - OUTIL GESTION EAU DE PLUIE OGE09 - Author: V. Mahaut

### 3.1.5.3. La récupération et le stockage de l'eau de pluie (citerne)

Une citerne est un réservoir fermé destiné au stockage temporaire d'eau de pluie. Elle peut être maçonnée ou préfabriquée, en béton ou en matériau synthétique, enterrée ou non. Il en existe de deux types bien distincts en fonction de son objectif hydraulique : la citerne de récupération et la citerne d'orage. Nous parlerons ici principalement de la citerne de récupération et/ou stockage dont la fonction essentielle est la récolte, la conservation et la valorisation des eaux de pluie par une utilisation domestique de celles-ci. Le dimensionnement de telles citernes dépend des précipitations moyennes de la région, de leur fréquence, des surfaces de récolte et de l'usage qui peut être fait de cette eau.

La citerne d'orage (ou bassin, cuve de rétention) est destinée à la récolte temporaire des eaux de très fortes pluies qui sont ensuite évacuées vers l'exutoire à débit régulé de manière à ne pas surcharger le réseau aval au moment où la crue est la plus forte. L'objectif de cet ouvrage est d'être le plus souvent vide pour pouvoir remplir sa fonction hydraulique lors de l'averse suivante.

#### → Conception

L'objectif lors du dimensionnement d'une citerne est que celle-ci soit le plus souvent possible suffisamment remplie d'eau pour pouvoir répondre à certains besoins. La citerne d'eau de pluie doit être dimensionnée de manière à pouvoir au maximum répondre aux besoins (80 à 90%).



Image: © www.gerbaud.com



Images: © www.maisonpassive.be

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Le principe de dimensionnement d'une citerne de récupération consiste à déterminer son volume sous le trop-plein. Ce volume dépend :

- des précipitations : moyenne annuelle, répartition dans le temps (fréquence et intensité);
- des surfaces de ruissellement d'alimentation : taille, pente, orientation et revêtement;
- de la demande en eau de récupération;
- du degré d'autonomie souhaité par rapport au complément en eau de distribution.

La méthode proposée par le Vlaamse Milieu Maatschappij dans la brochure Waterwegwijzer voor architecten (disponible sur internet : <http://www.waterloketvlaanderen.be/publicaties>) est valable pour les climats d'Europe centrale.

### → Matériaux

Deux types de matériaux sont disponibles pour les citernes de récupération : matériaux inertes (béton ou terre cuite) et matières synthétiques. La matière de la citerne doit assurer son étanchéité et préserver la qualité de l'eau. C'est pourquoi, on donnera la préférence aux citernes préfabriquées en béton réalisées d'une pièce ou en maçonnerie cimentée pour leur capacité à neutraliser l'acidité de l'eau de pluie et dont le fond uniquement peut être éventuellement carrelé pour faciliter l'entretien.

Si les conditions locales orientent le choix vers une citerne en matière synthétique on veillera à ce qu'elle soit opaque et constituée de matière recyclée ou réellement recyclable. On y installera des pierres calcaires: celles-ci neutraliseront l'acidité des eaux de pluie, ce qui est nécessaire pour éviter la corrosion des conduites d'eau et de la robinetterie.

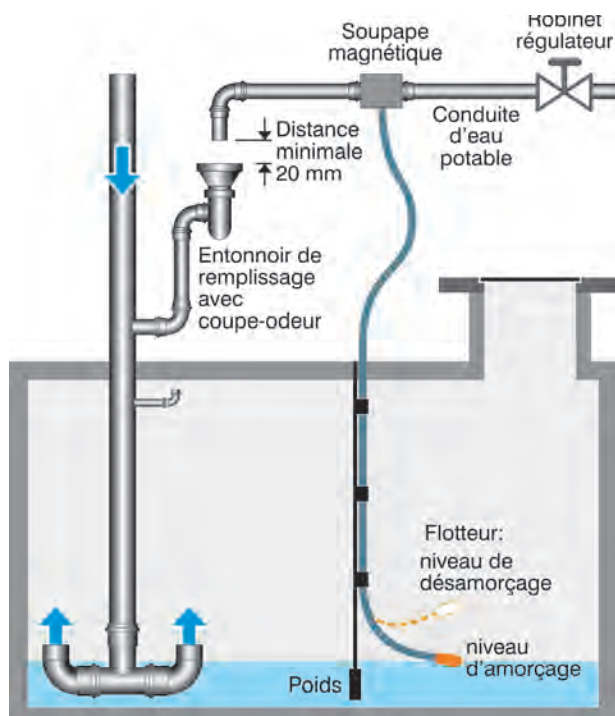
Les matières métalliques sont à éviter dans la mesure où son contact avec l'eau de pluie génère de la corrosion.

### → Installation

En fonction de la configuration du bâtiment, la citerne d'eau pluviale sera placée à l'abri des pollutions externes, dans un endroit frais et sombre pour éviter le développement d'algues, et si possible sur un lit de sable de 10cm. Idéalement enterrée, elle pourra aussi être placée hors sol dans une cave, au jardin ou encore dans les étages supérieurs d'un bâtiment dans l'optique d'une distribution par gravité, si toutefois la structure le permet.

Idéalement une citerne d'eau pluviale est enterrée, protégée si nécessaire d'infiltrations indésirables par un enduisage étanche. Si les conditions locales orientent le choix vers une citerne hors sol, on veillera à ce qu'elle soit placée dans un endroit frais et à l'abri du rayonnement solaire. La surface de pose doit être stable. La citerne doit être accessible, notamment pour le nettoyage et la vérification des équipements :

- le couvercle du conduit d'entrée doit être libre de toute végétation ou dépôt;
- l'ouverture suffisamment grande pour permettre à un homme de pouvoir descendre dans la citerne;
- le sol de la citerne doit être suffisamment solide pour supporter le poids d'une échelle et de la personne sur



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



celle-ci;

En zone urbaine, pour une raison d'entretien de la citerne et des filtres, la citerne devra être divisée en deux compartiments. Un premier compartiment servant de bassin de décantation, d'une capacité de 10 à 20% de la capacité du second compartiment et dont le surplus alimente le second compartiment. Un deuxième compartiment servant de réservoir proprement dit.

### → Equipements

Une citerne de récupération doit être équipée des éléments suivants (voir schéma):

- une amenée d'eau pluviale munie d'un ralentisseur;
- un dispositif d'appoint en eau de ville ;
- un aérateur ;
- une jauge ou d'un détecteur de niveau (facultatif) ;
- un trop-plein d'évacuation ;
- un dispositif de vidange ;
- un accès pour l'entretien : couvercle ou trou d'homme selon la taille de la citerne.

### → Entretien de la citerne

L'entretien des citernes consiste à :

- nettoyer, tous les 5 à 10 ans (si la citerne est précédée d'un filtre), le fond de celle-ci par temps de sécheresse à l'aide d'un nettoyeur à haute pression, d'une brosse à nettoyer ou d'un tuyau d'arrosage. La javel est fortement déconseillée et pas nécessaire,
- curer régulièrement les orifices d'arrivée et d'évacuation à débit régulé ou par surverse,
- en hiver, vider les citernes/tonneaux non enterrés et soumis au gel.

### 3.1.5.4. Alimentation, distribution et groupe hydrophore (pompe)

#### → Différents modes de distribution

Les points de puisage peuvent être alimentés en eau de pluie de plusieurs manières selon d'une part leur destination et la quantité d'eau à distribuer, et d'autre part leur situation par rapport à la citerne:

- A l'aide d'une pompe électrique : l'eau est aspirée de la citerne et refoulée (sous pression) dans les canalisations alimentant les points de puisage.
- A l'aide d'une pompe manuelle : l'eau est aspirée manuellement et s'écoule sur place. Il existe également des pompes manuelles aspirantes et foulantes permettant d'alimenter un point de puisage éloigné de la pompe.
- Par gravité : l'eau s'écoule de la citerne placée au-dessus du système de distribution. La pression est fonction de la hauteur du niveau de l'eau dans la citerne par rapport au point de puisage (1 bar pour une colonne d'eau de 10m).
- Par écoulement direct : l'eau est puisée à la base de la citerne munie d'un robinet, sur lequel un tuyau d'arrosage peut être raccordé, pour un usage généralement extérieur.

#### → Types de pompes électriques couramment utilisées

Les pompes les plus couramment utilisées sont des pompes centrifuges. Elles sont constituées de roues à aube placées dans une enceinte (le corps de pompe) possédant deux ou plusieurs orifices, le premier dans l'axe de rotation (aspiration), le second perpendiculaire à l'axe de rotation (refoulement). Le liquide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec celle-ci, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement. L'énergie fluide est donc celle provenant de la force centrifuge.

On distingue les pompes monocellulaires et multicellulaires. Le système monocellulaire présente l'avantage d'utiliser peu de composants ce qui le rend moins fragile, mais se trouve être plus bruyant. Il impose plus de puissance au moteur, et entraîne une chute rapide de la pression quand le débit augmente. Le système multicellulaire présente l'avantage d'imposer une puissance de moteur plus faible, d'être silencieux, d'évacuer l'eau avec une pression satisfaisante. Cependant, le nombre de composants plus important que dans le système monocellulaire le rend plus fragile.

Les autres avantages des pompes centrifuges par rapport aux pompes volumétriques sont:

- à caractéristiques égales elles sont plus compactes.
- construction simple, sans clapet ou soupape,
- utilisation facile
- elles sont peu coûteuses



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES




Il existe aussi un autre type de pompe, les pompes volumétriques (à piston, vis, engrenage, diaphragme, etc...). Elles se distinguent principalement des pompes centrifuges par leur domaine d'utilisation : Les pompes centrifuge conviennent mieux pour des volumes élevés (de 5 à 10.000 m<sup>3</sup>/h) mais pour des différences de pression faibles (de 1 à 20 bar). Les pompes volumétriques conviennent mieux pour des petits volumes (0 à 10 m<sup>3</sup>/h) pour des différences de pression élevées (de 1 à 4000 bar).

- elles ont un meilleur rendement
- elles ont un débit régulier et silencieux
- en cas de colmatage, obstruction de la conduite de refoulement, elle ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater.

### → Caractéristiques des -pompes courantes

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des types de pompes les plus courants, commercialisés dans plusieurs marques.

Description / encombrement / prix	Application / évaluation
 <p><b>Pompe immergée</b></p> <p>Ce type de pompe est placé dans la citerne. Présente la particularité de pouvoir couvrir de grandes distances entre le réservoir et les points de prélèvements.</p> <p>Encombrement: diamètre = 175 mm; 540 mm à 710 mm.</p> <p>Prix indicatif : 200 à 600 euros</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conçue pour la distribution d'eau dans les entreprises et la récupération des eaux de pluie</li> <li>• Gain de place car posée dans le fond de la citerne</li> <li>• Plus onéreuse, silencieuse</li> <li>• Pompe refroidie par le fluide véhiculé (eau)</li> </ul>
 <p><b>Système collectif</b></p> <p>Il est possible d'opter pour le montage de deux pompes en série de manière à augmenter le rendement et assurer un approvisionnement continu en cas d'entretien ou de réparation</p> <p>Encombrement: l= 835 mm; L = 660 mm; H = 1225 mm.</p>	<p>Système adapté à la récupération des eaux de pluie pour les habitations collectives ou petites entreprises (50 to 60 WC) , pour les économies d'eau.</p>
 <p><b>Système combiné: pompe et citerne</b></p> <p>Citerne en plastique et pompe avec commande électrique. Certains modèles permettent le remplissage automatique de la citerne</p> <p>Encombrement: l= 1730 mm; L = 820 mm; H = 1700 mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systèmes adaptés aux immeubles existants</li> <li>• Pour une plus grande capacité, on peut installer plusieurs citernes en série</li> </ul>

Source: IBGE - Comparaison de mesures alternatives pour la gestion des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle - fiche informative –OUTIL GESTION EAU DE PLUIE OGE09 – Author: V. Mahaut

### → Arrivée de l'eau de pluie (dans la citerne)

L'arrivée de l'eau de pluie dans la citerne doit se faire selon le schéma ci-dessous. Cette façon de faire permet d'éviter les turbulences dans le bas de la citerne, où se forment les dépôts de boues de décantation.

### → Alimentation en eau potable (en cas de sécheresse)

En cas de sécheresse prolongée, la citerne d'eau de pluie peut se vider complètement ou quasi complètement et il faut permettre une alimentation en eau potable. Une connexion fixe entre les deux réseaux n'est pas autorisée, il faut pouvoir réaliser une séparation complète entre les deux réseaux.

Cela peut se réaliser soit manuellement soit automatiquement:

- manuellement: le remplissage de la citerne par tuyau d'arrosage ou par un système de remplissage perma-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



ment (remplissage en fonction de la consommation estimée avant les prochaines averses).

- automatiquement: le flotteur de la pompe, au point bas, déclenche le robinet d'alimentation en eau potable qui remplit la citerne d'une quantité d'eau potable suffisante pour les besoins spécifiques d'une journée.

### → Système de trop-plein

La citerne d'eau de pluie doit être munie d'un système de trop-plein. Celui-ci ne fonctionne qu'une dizaine de fois par an selon le dimensionnement de la citerne. En termes de rénovation durable, il est conseillé de raccorder le trop-plein à un système d'infiltration dans le sol tel que puits d'infiltration, fossé, étang,... de manière à alimenter les nappes phréatiques avec les surplus d'eau de pluie.

Lorsque cette première solution n'est pas envisageable pour une question technique ou économique, on raccordera le trop-plein au réseau collectif, en prenant certaines précautions selon les spécificités du réseau (clapet anti-retour, entrée de la conduite du trop-plein en forme de siphon,...)

### 3.1.5.5. L'eau de pluie à l'école : informer et sécuriser

Pour assurer un usage approprié de l'eau de pluie dans les écoles et ce en toute sécurité, le réseau d'alimentation des points de puisage prendra en compte les éléments suivants :

#### → Un réseau distinct

Afin de maintenir une déconnection entre eau de ville et eau de pluie, un réseau de conduites intérieures distinctes connectera exclusivement les appareils destinés à l'usage de l'eau provenant de l'installation de récupération d'eau pluviale.

#### → Identification du réseau eau de pluie

Les installations d'alimentation en eau potable et en eau de pluie doivent dans tous les cas être identifiées sans hésitation. A cet effet elles seront marquées de façon durable et claire au moyen des dispositifs suivants :

- un marquage des canalisations (bagues de couleur, mise en couleur des canalisations) ;
- des étiquettes « eau non potable » posée à proximité immédiate des points de puisage en eau de pluie.
- éventuellement, la coloration de l'eau de pluie (de préférence en bleu ou vert).
- un schéma de principe de l'installation identifiant les différents composants

#### → Choix des matériaux

L'acidité naturelle de l'eau de pluie risque à terme de corroder ces canalisations métalliques et d'ainsi nuire fortement la qualité de l'eau. On préférera donc les conduites en matière synthétique de type PVC, PE, polybutène.

#### → Sécurité

Les robinets extérieurs sont mis hors de portée des enfants (ht : 160cm) ou sont sécurisés. Certains robinets techniques peuvent être munis d'une clé spéciale.

#### → Information

L'école pourra informer l'ensemble des parents, enseignants et enfants des principes et avantages du dispositif de récupération de l'eau de pluie qui y est mis en œuvre, sous forme de panneaux d'affichage afin de sensibiliser toute la population de l'école à cette problématique.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.2. Alimenter la ressource « eau » et réduire le ruissellement des eaux pluviales



Le cycle de l'eau est principalement mû par le soleil et la gravité de la Terre qui donnent à l'eau l'énergie nécessaire pour circuler à la surface de la Terre (mécanismes d'évaporation, de précipitation, de transpiration, de ruissellement, d'infiltration du cycle de l'eau).

Des déséquilibres naturels peuvent apparaître dès que l'homme perturbe le cycle naturel de l'eau pour ses besoins. L'imperméabilisation et l'urbanisation croissantes ainsi que l'augmentation de l'intensité des orages provoquent de plus en plus d'inondations des infrastructures publiques et privées. Ruissellement, pollution et pompage sont les principaux perturbants du cycle naturel liés à l'urbanisation, au développement des industries et du réseau de voiries, à l'augmentation de la démographie, et aux modifications des mœurs en matière d'eau. Une démarche de lutte contre l'imperméabilisation consiste à :

- réduire l'imperméabilisation de la parcelle du bâtiment à rénover en choisissant notamment des revêtements de sol perméables, en aménagement des espaces verts de plaines, en implantant des arbres et des haies...
- réduire l'impact de l'imperméabilisation sur la parcelle du bâtiment à rénover en proposant et en installant des mesures compensatoires.

Ménager le cycle hydrique en réduisant les eaux de ruissellement permet de limiter érosions, inondations, assèchement des nappes, diminution des fonctions épuratives du sol, dilution des eaux usées et grossissement de la quantité des eaux usées à traiter, ... Proposer et installer des mesures compensatoires permet également de travailler sur d'autres aspects tels que la biodiversité, l'amélioration des espaces extérieurs, l'amélioration de la qualité de l'air...

#### 3.2.1. Principes d'une gestion intégrée des eaux pluviales

##### → Minimiser le ruissellement

Limiter le volume des eaux de ruissellement peut se réaliser de plusieurs manières en respectant les priorités dans l'ordre suivant :

- limiter l'emprise au sol des constructions en densifiant si possible en hauteur plutôt qu'en surface au sol ;
- aménager les surfaces non bâties en espaces verts de pleine terre, plantés et dans la mesure du possible horizontaux (éventuellement « en terrasses ») ;
- prévoir des revêtements perméables pour les abords et espaces gris (accès, parkings,...) tel gravier, dolomie stabilisée, pavés non rejointoyés, gazon stabilisés, ..., dont les coefficients de ruissellement sont faibles.

##### → Eviter le ruissellement des eaux pluviales par récupération, infiltration et/ou évaporation de l'eau

Une fois que l'eau de pluie ruisselle sur les surfaces, il est important de réduire le volume de ruissellement en favorisant un des mécanismes du cycle naturel de l'eau : les eaux peuvent être soit infiltrées dans le sol, soit évaporées à la surface d'un plan d'eau, soit évapotranspirées par l'action des végétaux. Différents moyens existent pour atteindre ces objectifs :

- planter des arbres dans les abords et espaces gris de manière à permettre à la pluie d'être interceptée par leur feuillage et d'être ensuite évapotranspirée,
- installer des toitures vertes (intensives ou extensives) sur les toits plats ou légèrement inclinés qui permettent notamment l'évapotranspiration de l'eau par les végétaux.
- mettre en œuvre des ouvrages qui permettent l'infiltration dans le sol des eaux de ruissellement excédentaires non polluées ;
- mettre en œuvre des ouvrages qui permettent l'évaporation de l'eau à la surface de toitures stockantes ;
- mettre en valeur le cycle de l'eau comme élément structurant l'espace public par la matérialisation du cheminement de l'eau de pluie dans des dispositifs visuels multifonctionnels : tranchées d'infiltration, bassin d'infiltration paysager, ...

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



L'intégration paysagère de ces ouvrages est souvent gage de sensibilisation des occupants et d'un meilleur fonctionnement de l'ouvrage (grâce à un entretien correct dû à la multiplicité d'usage des lieux). Il est également à noter que certains dispositifs, tels que les bassins en eau, mare, bassins secs doivent être adaptés au contexte scolaire et faire l'objet de mesures de sécurité afin d'éviter tout risque de noyade.

### → Retenir les eaux pluviales et les évacuer lentement

Si les eaux de ruissellement ne peuvent pas trouver d'exutoire tel le sol ou l'atmosphère, il est encore possible de les ralentir de manière à différer leur évacuation, décharger le réseau aval lors de fortes pluies et y prévenir d'éventuelles inondations. Les moyens à disposition consistent à réserver un volume vide qui peut se remplir d'eau temporairement en cas de forte pluie :

- mettre en œuvre des dispositifs de canalisation de l'eau qui la ralentissent : rigoles ou tuyaux à forte rugosité, dont le parcours est allongé, à fond plat, voire en escalier ou en terrasses, ...
- mettre en œuvre des dispositifs de rétention temporaire d'eau au niveau des toitures (toitures stockantes). Les toitures stockantes en eau (image de droite) disposent de plus de volume de stockage d'eau que les toitures végétales ou en gravier pour une même hauteur d'eau par l'absence de matériau de remplissage.
- mettre en œuvre des ouvrages ou dispositifs de rétention des eaux de pluie pour leur permettre une évacuation vers un exutoire à débit limité, voire contrôlé. Ces ouvrages peuvent prendre la forme de noues, bassins secs ou fossés drainants, massifs drainants, ... Ils peuvent être couverts d'un revêtement minéral ou végétal. Le bassin d'orage et la citerne d'orage font partie de cette catégorie d'ouvrages.
- installer des citernes de récupération d'eau de pluie afin de la valoriser : les eaux de pluie récoltées sont alors utilisées pour différents usages

### → Limiter la pollution des eaux de ruissellement

La qualité de toute eau doit être soigneusement analysée lors de son rejet dans le milieu naturel ou vers le réseau d'égouttage. Les sols, les mers ont une fonction épuratoire naturelle, mais cette fonction est limitée et variable. Il est important de la respecter et de l'aider si le volume des eaux sales est trop important ou si la pollution est trop importante afin de limiter le risque de pollution des nappes phréatiques et de l'environnement. Les eaux de ruissellement sont chargées de divers polluants présents dans l'atmosphère (captés lors des précipitations) ou sur les surfaces de ruissellement : poussières (atmosphère, toitures, parkings, abords, ...), sables (atmosphère, abords, ...), matières organiques (mousses, toitures vertes, débris végétaux et animaux, ...), engrais, phosphates (toitures vertes), métaux lourds (toitures métalliques, voiries, ...), etc. Dès lors que l'on est situé à proximité (moins d'un kilomètre) d'une zone de protection de captage, un prétraitement de l'eau de ruissellement sera à envisager pour les aires de stationnement importantes et pour les voiries principales de manière à améliorer la qualité des rejets au milieu naturel.

### 3.2.2. Gestion des eaux pluviales sur la parcelle (autour du/des bâtiments)

«La gestion des eaux pluviales sur la parcelle vise à compenser l'imperméabilisation des sols inhérente aux constructions et à l'aménagement des abords. Elle a pour objectif d'atténuer le ruissellement et d'alléger la charge des infrastructures collectives d'assainissement existantes. Elle contribue à prévenir les inondations et la pollution des eaux de surface ainsi qu'à alimenter la nappe phréatique.» Source: Guide pratique à la construction et rénovation durable de petits bâtiments, IBGE, 2007

Plusieurs mesures, dont l'efficacité a été prouvée, peuvent être rapidement et facilement mises en place comme favoriser l'aménagement d'espaces verts et plus spécialement dans les cours d'immeubles et en cœur d'îlots, augmenter la perméabilité des espaces gris (terrasse, cheminement, aire de parcage) et/ou favoriser la végétalisation des toitures (rôle de bassin d'orage).

#### 3.2.2.1. Indicateurs utiles

##### → Coefficient d'imperméabilisation du sol

Le coefficient d'imperméabilisation est le rapport entre la surface de terrain imperméable et la surface totale de la parcelle. Lors du réaménagement de la parcelle, l'auteur de projet veillera à ce que le coefficient d'imperméabilisation se situe entre les valeurs 0,4 et 0,2.

Traditionnel	Performant	Très performant
80 à 40%	40 à 20%	< 20%

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

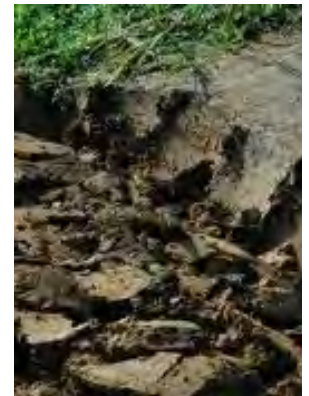
## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### → Coefficient d'infiltration d'un sol

La capacité d'infiltration d'un sol correspond à sa perméabilité. Il est exprimé en [mm/h] (ou en [m/s]). Le tableau ci-dessous donne un ordre de grandeur de la capacité d'infiltration pour différents types de sol.

Type de sol	Capacité d'infiltration
Sable grossier	500
Sable fin	20
Sable fin limoneux	11
Gravier léger	10
Tourbe	2.2
Limon	2.1
Argile légère	1.5
Argile moyen. lourde	0.5
Limon argileux	0.4



#### Remarque :

Lorsqu'une couche de remblais est présente dans le sol, un test de perméabilité devient indispensable. Un test d'infiltration permet de le déterminer la capacité d'infiltration d'un sol. Ce test peut être réalisé assez facilement sans de gros moyens techniques ou financiers.

### 3.2.2.2. Aménagement végétal de la parcelle

Lors du réaménagement de la parcelle et des espaces collectifs (autour du ou des bâtiments scolaires à rénover), certains dispositifs végétaux permettant la rétention et l'infiltration des eaux de pluies peuvent être implantés. Ces dispositifs ont l'avantage de réintroduire ou de renforcer la biodiversité du lieu mais également d'augmenter la qualité de ces espaces extérieurs et d'en améliorer le confort.

#### → Dispositifs végétaux de rétention et d'infiltration

Certains dispositifs végétaux comme les arbres, les haies et les arbustes peuvent faciliter la rétention et l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement.

#### → Dispositifs de rétention et de collecte

##### Caniveaux et canaux

Systèmes naturels pouvant s'intégrer dans l'aménagement de grands et moyens ensembles de bâtiments, en tant qu'élément de séparation et de composition. Canaux à ciel ouvert, larges et plats, en légère pente, destinés à conduire les eaux à la place de canalisations enterrées. Le chemin emprunté par l'eau est rendu visible et accessible.

##### Toitures vertes

La toiture verte est également un élément important au niveau de la gestion des eaux de pluie sur la parcelle car elle agit comme un bassin d'orage et permet donc, en cas de forte pluie, de délester le réseau d'égouttage grâce à un stockage provisoire et à un écoulement différé et progressif.

### 3.2.2.3. Choix des matériaux de revêtement de sol (abords, circulations, parkings...)

Lors du réaménagement des espaces extérieurs et collectifs de l'école, le concepteur privilégiera pour les espaces de parkings, les chemins d'accès et les zones hors cours de récréation un revêtement perméable, permettant l'infiltration des eaux pluviales. (Voir tableau, page suivante).

## 3.2.3. Systèmes de rétention et d'infiltration des eaux pluviales

Progressivement, l'urbanisation des moyennes et grandes villes européennes ainsi que de leurs agglomérations a généré une considérable imperméabilisation des sols, contribuant aux phénomènes d'inondation.

Cette imperméabilisation, inhérente aux infrastructures et aux constructions, peut être compensée à l'échelle de la parcelle et du bâtiment. Un des objectifs majeurs de la démarche proposée ci-dessous est de réduire sensiblement cette

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Revêtement de sol		
Gravier		Revêtement constitué de cailloux de pierre naturelle ou de gravier roulé. L'épaisseur du revêtement et sa granulométrie dépendent de la charge à supporter. Mise en oeuvre simple et bon marché. Ne supporte pas un trafic intense.
Dolomie		Revêtement constitué d'un mélange de dolomie de granulométrie grossière, de ciment, d'eau de gâchage et de chaux. Un géotextile empêche le mélange entre les couches et l'apparition de plantes ou herbes. Ne supporte pas un trafic automobile fréquent.
Pavement à larges joints		Pavés de béton ou pierre naturelle à joint large (2 à 3.5cm). Les joints sont remplis de gravier fin ou de sable grossier. La perméabilité diminue si la végétation occupe les joints.
Pavement perméable		Pavés en béton perforés et présentant sur la face inférieure de petits canaux d'évacuation d'eau.
Dalle-gazon en béton		Dalles ajourées en béton, remplies de terreau et de semences d'herbes. Les dalles sont posées sur une sous-couche et une fondation en gravier. Le gazon occupe, en fonction du modèle, entre 35 et 65% de la surface. Dalles adaptées à la circulation et au stationnement automobile. Entretien régulier du gazon (engrais, tonde,...)
Dalle-gazon en matières synthétiques		Dalles fabriquées en moyen de polyéthylène recyclé de haute densité. Assemblées, elles forment une nappe alvéolée que l'on remplit de gravier ou de terreau et de semences d'herbes. Système légers et robustes – mise en oeuvre facile.

imperméabilisation en favorisant l'implantation de techniques compensatoires alternatives (noues, toitures végétales, citernes, etc.). Ces mesures compensatoires ont l'avantage d'être multi-fonctionnelles, à savoir qu'elles peuvent assumer différents rôles dans l'espace privé ou collectif (terrain de jeu, espace vert, espace de collecte d'eau...) et d'améliorer sensiblement la qualité des espaces grâce à une multiplicité de végétaux et de matières.

**Les mesures proposées ci-après sont celles qui peuvent être appliquées sans danger et sans risque dans les espaces collectifs et espaces de jeux des écoles.**

### 3.2.3.1. La noue

Une noue est une dépression du sol servant au recueil, à la rétention, à l'écoulement, à l'évacuation et/ou à l'infiltration des eaux pluviales. Peu profonde, temporairement submersible, avec des rives en pente douce, elle est le plus souvent aménagée en espace vert, mais pas exclusivement. De forme allongée, à rives parallèles ou non, sa forme peut suivre les courbes de niveau et se rétrécir à certains endroits. Un réseau de noues à ciel ouvert peut remplacer un réseau d'eau

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



pluviale enterré avec l'avantage d'une conception simple à coût peu élevé. Les avantages de cette technique la rendent la plus utilisée des techniques alternatives.

**Collecte des eaux:** l'eau est collectée soit par l'intermédiaire de canalisations (dans le cas de récupération des eaux de toitures ou de chaussées) soit directement après ruissellement sur des surfaces adjacentes.

**Fonction principale:** stocker un épisode de pluie plus ou moins important. Le stockage et l'écoulement se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue.

**Evacuation:** l'évacuation des eaux peut se faire vers un exutoire ou par infiltration et évaporation (solutions à privilégier).



Noues - Image: V. Mahaut

### 3.2.3.2. Le bassin sec

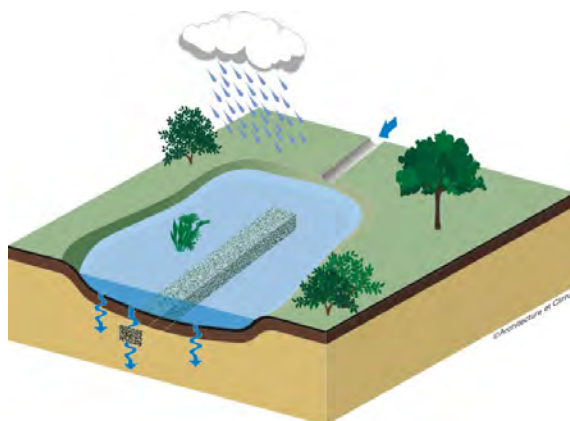
Un bassin sec est assimilé à une noue « élargie ». Il est de forme plus circulaire et sert davantage au stockage de l'eau pour l'infiltrer dans le sol ou la restituer à l'exutoire. Les berges des bassins secs sont souvent en pente douce mais peuvent être plus raides et la hauteur d'eau peut être plus importante que celle des noues.

Temporairement submersible, il est le plus souvent aménagé en espace vert, mais pas exclusivement : son revêtement peut être végétal ou minéral. Un « bassin d'orage » à fond et parois verticales revêtus (béton, pavés, ...) est un type particulier de bassin sec. Le bassin sec constitue le plus souvent, le lieu final d'une éventuelle succession de mesures alternatives avant l'exutoire.

**Collecte des eaux:** l'eau est collectée soit par l'intermédiaire de canalisations soit directement après ruissellement sur des surfaces adjacentes.

**Fonction principale:** stocker à l'air libre un épisode de pluie: rôle d'étalement et d'écêtement des eaux pluviales.

**Evacuation:** l'eau est évacuée vers un exutoire ou par infiltration et évaporation (à privilégier)



Ecole à Scharnhäuserpark - Allemagne- Image: V. Mahaut

### 3.2.3.3. Le massif

Un massif est une cavité dans le sol remplie d'une structure granulaire à forte porosité : graviers, galets et roches concassées (sans sable), matériaux alvéolaires, etc.

Le massif est souvent, mais pas toujours, recouvert d'un revêtement selon son usage superficiel (dalle de béton, pelouse,

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



enrobé bitumineux drainant, galets, pavés poreux, béton poreux, ...). S'il n'est pas recouvert, la structure granulaire se présente à ciel ouvert. Il peut être planté comme une lagune remplie de graviers et participer à l'épuration des eaux de ruissellement.

Recouverts de gazon, ils peuvent être rendus invisibles dans un jardin. De manière générale, les massifs recouverts du même revêtement que leur environnement proche (revêtement minéral, dolomie, pelouse, parterre planté, ...) peuvent passer inaperçus. Le stockage de l'eau s'effectue dans les vides de la structure granulaire et ne déborde pas de la surface supérieure. L'eau est ensuite infiltrée dans le sol et/ou restituée à débit régulé vers un exutoire.

### Collecte :

L'eau peut pénétrer de trois manières différentes dans le massif :

- par injection dans le massif : les eaux sont récoltées sur les surfaces imperméables adjacentes par l'intermédiaire de canalisations ou de rigoles. Les eaux sont alors injectées dans la structure granulaire par des avaloirs ou des drains de dispersion installés dans la partie supérieure de la structure granulaire.
- par ruissellement vers la surface supérieure du massif : les eaux de ruissellement des surfaces imperméables adjacentes ruissellent vers le massif, perpendiculairement à sa longueur, et sont réparties sur la surface supérieure du massif. Ces eaux sont alors infiltrées vers la structure granulaire à travers un revêtement poreux.
- par infiltration directe dans le massif : les précipitations qui tombent sur la surface de l'ouvrage ne ruissellent pas : elles sont réceptionnées par un revêtement poreux qui infiltre directement les eaux vers la structure granulaire sous-jacente.

### Fonction principale

La fonction essentielle d'un massif est de stocker un épisode de pluie. Le stockage de l'eau se fait dans la structure granulaire.

### Evacuation

L'eau est évacuée vers un exutoire ou par infiltration dans le sol et, dans une moindre mesure, par évapotranspiration. Ces différents modes d'évacuation se combinent selon leur propre capacité. Le massif peut être utilisé seul, comme technique alternative à part entière, ou en complément d'autres techniques.

#### → Tranchée

Une tranchée est un massif linéaire et profond d'1 à 2 mètres, assimilable à un fossé rempli d'une structure granulaire, recouvert ou non d'un revêtement. Souvent, les eaux proviennent directement par ruissellement des surfaces adjacentes à la tranchée perpendiculairement à la longueur de celle-ci, comme le long d'une voirie, par exemple.

#### → Parking poreux

Un parking poreux est un massif dont le revêtement de surface est poreux. Les eaux de pluie qui atteignent cette surface n'y ruissellent pas et s'infiltrent directement dans la structure granulaire. Le parking poreux ne reçoit que les eaux de pluie tombant sur sa surface (le pluvial) et ne gère donc pas les eaux de ruissellement provenant d'autres surfaces imperméables.



#### 3.2.3.4. Le puits

Un puits est un dispositif de plusieurs mètres, voire plusieurs dizaines de mètres, de profondeur qui permet le transit du ruissellement vers un sous-sol perméable pour assurer un débit de rejet compatible avec les surfaces drainées, après stockage et prétraitement éventuels. Il est souvent choisi dans le cas d'un sol dont les couches de surface sont imperméables mais possédant un sous-sol perméable. Il draine souvent de grandes surfaces (> 1000m<sup>2</sup>) et ne nécessite pas d'autre exutoire que le sous-sol.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES

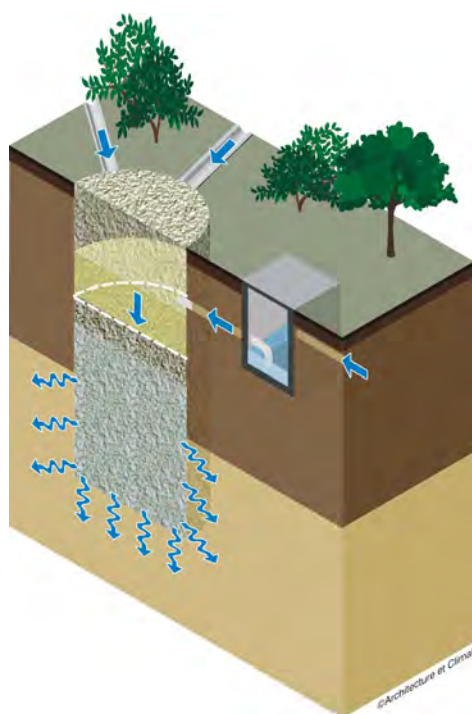


**Collecte** : l'eau est collectée par l'intermédiaire de canalisations ou rigoles, est éventuellement prétraitée, et stockée à ciel ouvert avant le puits ou dans le puits.

**Fonction principale**: la fonction essentielle du puits est d'amener les eaux de ruissellement vers un sol très perméable. L'eau s'infiltré dans le sol par le fond du puits et éventuellement par les parois latérales s'il est conçu pour cela. Il peut aussi servir de stockage et, bien que d'une faible surface, il peut retenir beaucoup d'eau.

**Evacuation**: l'eau est évacuée par infiltration vers le sous-sol perméable.

Le puits est souvent associé à des techniques de stockage de type chaussée réservoir, tranchée drainante, fossé ou même bassin de rétention, dont il recueille le débit de fuite. Il est alors l'exutoire ultime d'un système à ciel ouvert ou en massif. Il peut également fonctionner comme « système de secours » en cas de pluies exceptionnelles. Il est possible, par ailleurs, d'accroître l'infiltration de fossés à ciel ouvert en jalonnant leur parcours de puits filtrants.



Images: Tatiana De Meester et Sophie Trachte

### 3.2.3.5. Les toitures stockantes

Une toiture stockante est une toiture qui peut stocker temporairement un petit volume d'eau de pluie au plus près de la surface réceptrice (la toiture). Cette technique est utilisée pour ralentir le plus tôt possible le ruissellement des eaux de pluie sur les toits plats.

Le principe consiste à retenir, grâce à un parapet en pourtour de toiture, grâce à un substrat planté ou grâce à un massif de graviers roulés, une certaine hauteur d'eau (quelques centimètres), à la faire évaporer, évapotranspirer et/ou à la relâcher à faible débit.

**Collecte** : l'eau est collectée directement sur la surface de la toiture. Aucun ouvrage de collecte n'est nécessaire, sauf si l'eau provient également d'une toiture d'un niveau supérieur.

**Fonction principale**: la fonction essentielle de la toiture est de réceptionner les précipitations et de les stocker temporairement.

**Evacuation**: l'eau est évacuée par évaporation dans le cas des toitures en eau et par évapotranspiration dans le cas des toitures végétales et/ou à débit régulé vers un exutoire (descente d'eau, réseau, ...).

Les toitures stockantes sont utilisées comme technique préalable à d'autres techniques compensatoires à l'imperméabilisation.

### 3.2.3.6. Principes de dimensionnement

Sur base de données d'observation des précipitations à l'IRM, des modèles de pluies, dite pluies de projet, sont déterminés et servent à dimensionner les ouvrages hydrauliques.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Chaque objectif hydraulique est défini par :

- l'occurrence d'une pluie, c'est-à-dire son temps de retour,
- un débit de fuite maximum à ne pas dépasser,
- un temps de vidange à ne pas dépasser.

### **Débit de fuite**

Le débit de fuite est le débit, exprimé en litre par seconde, qui s'écoule en dehors de la parcelle vers l'exutoire (égout, rivière, ...).

Pour un débit de fuite choisi et un temps de retour de pluie de projet défini, le dimensionnement de l'ouvrage se résume à la définition d'un volume de rétention.

### **Volume de rétention**

Le volume de rétention est un volume qui retient les eaux qui ne se sont, durant la pluie envisagée, ni infiltrées, ni évaporées, ni évapotranspirées, ni évacuées à débit régulé vers l'exutoire.

### **Temps de vidange**

Une fois la pluie passée, l'ouvrage pourra se vider lentement par infiltration, évaporation, évapotranspiration ou vers l'exutoire à débit régulé défini, et attendre la pluie suivante pour remplir à nouveau sa fonction. En général, on conseille que le temps de vidange n'excède en aucun cas deux jours. Idéalement, il ne devrait pas excéder 6 à 12h afin d'éviter les désagréments d'odeur et de prolifération de moustiques en été.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.3. Contrôler la consommation de ressources naturelles



Le monde qui nous entoure est fait de matière, d'énergie et d'information. La matière et l'énergie sont considérées comme des matières premières, à savoir des matières extraites de la nature ou produites par elle, et utilisées comme composant ou comme source d'énergie dans la production et le transport de produits finis.

Le secteur de la construction est aujourd'hui en Europe un très grand consommateur d'énergie (45%) et de matières premières (50%). Il est donc essentiel d'aborder cette thématique lors de la rénovation durable des écoles et bâtiments scolaires, notamment à travers le choix des matériaux et procédés constructifs.

La matière est la substance qui est transformée en produit fini grâce à un apport d'énergie et d'information. Tout matériau ou produit de construction consomme des ressources énergétiques et non énergétiques tout au long de son cycle de vie :

- **les ressources énergétiques** (charbon, fuel, gaz naturel, énergie hydraulique, énergie électrique...) qui sont principalement utilisées en tant que combustible pour le transport et pour les procédés de transformation;
- **les ressources non énergétiques** (matières végétales, animales ou minérales, y compris les métaux, les matières issues de la pétrochimique, les matières issues du recyclage...) qui sont utilisées comme composant ou ingrédient dans la fabrication d'un produit de construction;
- **les ressources en eau** sont utilisées comme composant et/ou comme élément d'un procédé de fabrication ou d'une phase dans le procédé de fabrication (équarrissage, sciage, mélange...) ou les deux.

L'ensemble de ces ressources peut être regroupé sous le terme plus générique de « ressources naturelles ». Les ressources naturelles sont définies comme étant les diverses ressources minérales, végétales ou animales présentes sur Terre et nécessaires à la vie de l'homme et à ses activités économiques. Ces ressources peuvent se subdiviser en deux groupes distincts selon la « fragilité » ou la disponibilité de la ressource :

- **les ressources non renouvelables** qui sont constituées par les matières premières minérales (minerais, métaux, roches) et les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon...). Ces différentes ressources proviennent de gisements formés au cours de l'histoire géologique de la Terre et qui correspondent à un stock, par essence même « épuisable »;
- **les ressources renouvelables** qui peuvent, en principe, être exploitées sans épuisement, car capables de se régénérer en permanence. Ces différentes ressources regroupent les sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biomasse), l'eau, les sols (terres cultivables) ainsi que les ressources biologiques, qui sont constituées par les communautés vivantes exploitées par l'homme (forêts, pâturages, pêcheries maritimes, biodiversité – espèces animales et végétales) et par les variétés de plantes cultivées et races d'animaux domestiques.

Les ressources renouvelables se renouvellent sur des durées très variables, pouvant aller de quelques mois pour les

Une démarche « soutenable » en termes de choix matériaux de construction implique nécessairement de limiter autant que possible l'exploitation des ressources naturelles.

Cette démarche sous-entend de refermer le cycle de vie des matériaux, c.-à-d. de rendre les flux de matières cycliques en valorisant au maximum les déchets – produits pendant les différentes phases du cycle de vie du matériau – comme matières premières pour la fabrication de nouveaux matériaux et/ou la construction/rénovation de bâtiments.

Selon ce principe, les bâtiments doivent donc être considérés comme un stockage de matières premières et les filières traditionnelles de traitement de déchets, comme des gisements de matières « secondaires » potentiellement valorisables.

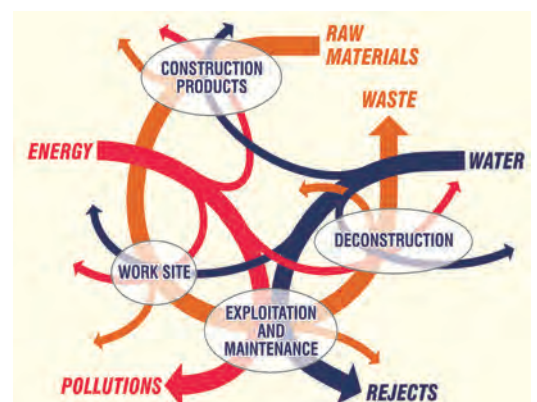


Image: Building life cycle d' E. Dufrasnes

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



ressources cultivables à plus de trente ans pour du bois de structure. Ce temps de renouvellement est donc une donnée essentielle lorsqu'on souhaite comparer deux ressources renouvelables.

*Exemple :*

*Chanvre et lin : quelques mois de culture*

*Liège : 9 ans*

*Bois de structure : 20 à 30 ans*

Chaque ressource est caractérisée par sa nature, sa disponibilité, son lieu d'extraction. Ce sont ces caractéristiques qui vont à la fois traduire les qualités intrinsèques de la matière et par la suite celles du produit fini – ses performances techniques et/ou physiques – et influencer son impact sur l'environnement.

### 3.3.1. Les différentes ressources

#### 3.3.1.1. Ressources naturelles non énergétiques

Les ressources naturelles non énergétiques sont utilisées dans le secteur industriel de la construction, soit telles quelles et/ou sous forme de matières premières introduites dans un processus de fabrication.

Ressources non énergétiques = matières premières

Les matériaux consomment des matières premières et de l'eau en quantité plus ou moins importante en fonction du type de matériaux et du procédé de fabrication.

*Exemple:*

*- 1m<sup>3</sup> (soit 2400kg) de béton normal lourd armé coulé in situ en Belgique nécessite approximativement 350kg de ciment, 1800kg d'agrégats (sable et granulats), 100kg d'armatures et 200 litres d'eau.*

*- 1 tonne de clinker (1m<sup>3</sup> de ciment) nécessite 1,7 tonnes de matières premières*

Les modes constructifs - au niveau du chantier - vont également avoir une influence sur la quantité de matière à mettre en œuvre et sur le volume d'eau à utiliser.

*Exemple:*

*Une construction à ossature bois par rapport à une construction traditionnelle « hourdis béton et blocs de maçonnerie »*

Il y a donc lieu de privilégier les modes constructifs économes en matière premières et en eau, notamment en favorisant la préfabrication et les modes de construction à sec,...

#### 3.3.1.2. Ressources issues du recyclage

Certaines ressources ou matières premières utilisées dans les procédés de fabrication sont des matières dites «secondaires» ou «recyclées». Par matière «recyclée», on entend une matière qui, ayant déjà subi un cycle de vie complet, est réintroduite, en tant que matière première, dans un nouveau cycle de production.

*Exemple :*

*- Concassé de béton*

*- Flocons de cellulose*

*- Laine de roche recyclée sous forme de brique*

*- Verre recyclé utilisé dans la fabrication de laine de verre ou de verre cellulaire*

Il est important de souligner qu'en termes de gestion soutenable des ressources, ces matières sont extrêmement intéressantes dans la mesure où :

- elles limitent le « gaspillage » en réutilisant des matières préalablement exploitées;
- elles requalifient des « déchets » en leur redonnant de la valeur (notamment économique);
- elles ménagent les stocks des ressources naturelles énergétiques et non énergétiques.

#### 3.3.1.3. Ressources énergétiques

Tout changement, toute transformation nécessite de l'énergie : modification de température, modification de forme, modification de composition chimique... « L'énergie n'est rien d'autre que l'unité de compte de la transformation du monde qui nous entoure »

Les ressources énergétiques sont utilisées dans le secteur industriel de la construction en tant que «combustible» de transport et « combustible » de transformation.

En effet, l'ensemble des procédés industriels nécessaires à l'extraction des matières premières, à la fabrication des produits de construction, à leur transport, leur mise en œuvre, leur démolition et traitement en fin de vie consomment – de

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Images: Sylvie Rouche

manière plus ou moins importante selon le type de matériaux – des ressources énergétiques.

L'énergie qui est consommée durant tout le cycle de vie des matériaux de construction est aujourd'hui essentiellement produite à partir de combustibles fossiles. Les combustibles fossiles les plus largement utilisés sont le fuel, le gaz naturel et le charbon.

La part d'énergies renouvelables (hydraulique, biomasse, éolienne et solaire) dans les processus de fabrication est, en moyenne, relativement faible et de l'ordre de 5 % à 15 % dans le meilleur des cas.

Certains procédés industriels utilisent également une quantité plus ou moins importante de déchets tels que des pneus ou des huiles usagées...

Les combustibles renouvelables et les combustibles « déchets » étant encore relativement marginaux dans le secteur industriel de la construction, il est évident que ce dernier consomme énormément de ressources fossiles (45 % de la consommation totale d'énergie), poussant ainsi à une surexploitation de ces ressources fossiles. Celles-ci, avec l'usage intensif actuel, seront épuisées en six voire trois décennies.

### 3.3.1.4. Disponibilité des ressources

La disponibilité d'une ressource indique en quelle quantité la matière ou la ressource est disponible dans la nature et si l'utilisation régulière de celle-ci est en équilibre ou non soit avec le stock disponible, soit avec son renouvellement naturel.

La disponibilité des ressources s'évalue différemment selon qu'on parle de ressources renouvelables ou de ressources non renouvelables.

#### → Temps et taux de renouvellement

On parle de temps de renouvellement pour les ressources renouvelables, principalement les matières organiques d'origine végétale ou animale ; on parle d'indice de rareté pour les ressources non renouvelables comme les ressources minérales ou synthétiques.

Le temps de renouvellement de la ressource correspond au temps nécessaire au développement de la matière entre chaque récolte ou entre chaque tonte.

*Exemple:*

*Le chanvre et le lin, utilisés notamment comme isolant thermique et acoustique, sont récoltés plusieurs fois sur l'année ; leur temps de renouvellement est donc inférieur à un an.*

*L'écorce du chêne-liège, utilisée en tant qu'isolant thermique, acoustique et revêtement de sol, est récoltée tous les 9 à 10 ans (une fois que l'arbre a atteint 15 ans).*

Il ne faut cependant pas confondre le temps de renouvellement avec le taux de renouvellement qui est défini comme le rapport entre la durée de vie typique d'un matériau et le temps de renouvellement de la matière première dont il est issu.

#### → L'indice de rareté ou Abiotic depletion potential

L'indice de rareté ou en anglais « depletion of abiotic resources » est basé sur la comparaison des ressources naturelles non renouvelables abiotiques et celle de l'antimoine (Sb).

L'antimoine est un élément chimique natif de la famille des pnictogènes, de symbole Sb et de numéro atomique 51. C'est un métalloïde de couleur métallique. L'antimoine est présent dans de nombreux minéraux, souvent allié au plomb, sous forme d'oxyde ou de sulfure. Par convention, l'antimoine a un indice de rareté de valeur «1». Une valeur supérieure à 1 pour une ressource indique que l'on consomme une ressource plus rare que l'antimoine. Par contre, les ressources dont la valeur est très faible (inférieure à 0.001), sont considérées comme inépuisables à l'échelle humaine.

La disponibilité des ressources et leur préservation sont une problématique majeure du développement durable. Il est indispensable, en termes de gestion soutenable des ressources, d'établir un lien entre les stocks actuels des ressources présentes sur Terre et les besoins – présents et à venir – auxquels ces stocks devront faire face.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Exemples (suivant la base de données ECOINVENT « kg antimoine équ. ») – par kilo de matière :

- Gravier : 0.00002888 kg antimoine équ.
- Cuivre : 0.048696 kg antimoine équ.
- Béton : 0.56528 kg antimoine équ.
- Liège : 0.0001415 kg antimoine équ.
- Or : 180 à 220 kg antimoine équ.

La disponibilité d'une ressource est un indicateur utile pour les matières premières issues de ressources naturelles qui entrent dans un premier cycle de vie lors de la fabrication d'un matériau ou produit.

Par contre, cet indicateur ne peut être utilisé pour les matières recyclées puisqu'on ne dispose pas de données concernant leur disponibilité comparables aux données sur les ressources naturelles.

Il est à noter que la disponibilité de matières recyclées est encore souvent aléatoire et l'approvisionnement de celles-ci pas toujours continu.

### 3.3.1.5. Exploitation soutenable des ressources « bois » – labels FSC et PEFC

Certains labels garantissent des conditions d'exploitation soutenables. Il s'agit notamment, pour les matériaux à base de bois (bois d'œuvre ou dérivés), des labels FSC et PEFC.

#### → Label FSC

FSC est l'abréviation de « Forest Stewardship Council ». Le label FSC est un label privé, collectif, contrôlé par un organisme indépendant. Les produits labellisés «FSC» contiennent du bois en provenance de forêts qui ont obtenu un certificat grâce à leur gestion durable. Fin juillet 2007, 877 forêts répondaient aux principes et critères du FSC. Au total cela représente 89 millions d'hectares de forêt.

Le label FSC Pur peut être utilisé uniquement lorsque le produit est composé à 100 % de matériels certifiés FSC. Le label FSC Mixte indique que le produit provient d'un procédé de production dans lequel du matériel certifié FSC, des matériaux recyclés ou des matériaux d'autres sources contrôlées sont utilisés. Le label FSC Recyclé signifie que le produit est fait à 100 % de matériel recyclé après consommation. Le label s'applique uniquement aux ressources : il ne garantit pas les étapes ultérieures du cycle de production.

L'organisation qui gère ce label est le Forest Stewardship Council. Il s'agit d'une organisation internationale dont la mission est de promouvoir une gestion écologique, socialement responsable et économiquement viable des forêts du monde. Les membres du FSC sont des représentants de groupements écologiques et sociaux, du secteur et du commerce du bois, de l'industrie du papier, de peuples indigènes et de groupements forestiers à travers le monde.

Le label FSC est reconnu mondialement.

#### → Label PEFC

PEFC est l'abréviation de « Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes ».

Le label PEFC est attribué à un produit contenant au minimum 70 % de bois provenant de forêts gérées durablement. Il



Le label PEFC présente un problème pour le consommateur: il est impossible de savoir d'où provient exactement le bois labellisé PEFC. C'est un problème important, vu qu'il existe d'autres systèmes de certification, avec d'autres critères, dans chaque pays. La reconnaissance réciproque de différents systèmes de certification de qualité variable donne ainsi lieu à un manque important de transparence.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



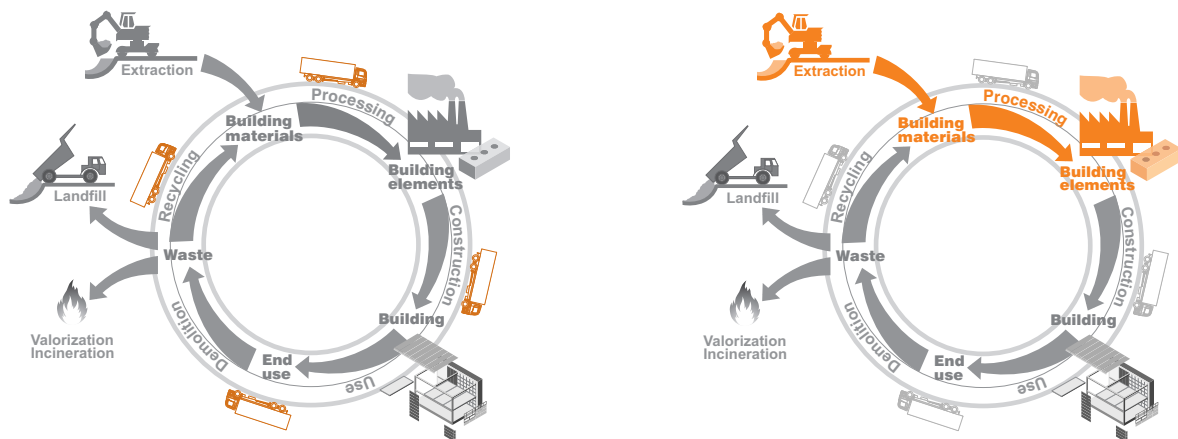
s'agit d'un organisme couplé international, basé sur la reconnaissance réciproque de différents systèmes nationaux de certification de forêts. 33 systèmes nationaux sont membres du PEFC; la reconnaissance réciproque vaut pour 23 d'entre eux. Ensemble, ces 23 systèmes ont déjà certifié plus de 200 millions d'hectares de forêt. Cela fait du PEFC le label le plus important au niveau mondial pour la certification de forêts (environ 70 % de toute la surface certifiée).

Le label PEFC est un label privé, collectif, contrôlé. Le contrôle est effectué par des instances de certification indépendantes et accréditées. Le label peut être utilisé si le produit contient au moins 70 % de bois certifiés PEFC.

### 3.3.2. Notion d'énergie grise

#### 3.3.2.1. Définition de l'énergie grise

Lorsqu'on parle d'énergie grise dans l'industrie des matériaux de construction et dans le secteur du bâtiment, il y a lieu de différencier « grey energy » et « embodied energy »



#### → Energie grise (Grey energy)

L'énergie grise «grey energy » est calculée en énergie primaire et est présentée en MJ/kg matière produite. Cette énergie peut être divisée en 4 types d'énergies :

- **Énergie primaire renouvelable**
- **Énergie primaire non renouvelable (NRE)**
- **Énergie primaire matière:** cette énergie prend en compte l'énergie stockée dans les matériaux et théoriquement récupérable en fin de vie.
- **Énergie primaire procédé :** cette énergie prend en compte l'énergie mobilisée dans les opérations de transformation, de fonctionnement et de transport du matériau ou du système.

#### → Energie incorporée ou Embodied energy

L'énergie grise « embodied energy » est calculée en énergie primaire et est présentée en kWh/kg matière produite. L'énergie grise « embodied energy » est l'énergie requise par le processus de production d'un produit. Elle doit être considérée comme l'énergie nécessaire au processus ou encore l'énergie consommée par l'ensemble des processus liés à la production d'un produit (voir d'un bâtiment), de l'extraction et de la transformation des ressources naturelles à la fabrication, au transport et la livraison des produits.

L'énergie incorporée ne tient pas compte pas de la mise en œuvre, de l'entretien et du remplacement lors de la vie en œuvre et de l'élimination des matériaux de construction.

#### 3.3.2.2. Rapport entre « énergie grise » et « énergie d'opération »

La consommation d'énergie grise doit être mise en parallèle avec l'énergie d'opération consommée durant la durée de vie d'un bâtiment.

En effet, dans le secteur de la construction, on a vu apparaître ces dernières années une volonté de réduire considérablement la consommation d'énergie liée à l'utilisation des bâtiments. En Europe centrale, cette réduction des besoins en énergie se marque, essentiellement, par une isolation et une étanchéité très performantes permettant d'atteindre le standard « basse énergie », voir dans le meilleur des cas, le standard allemand « passivhaus ».

Cependant, plusieurs équipes de recherche – dont Architecture et Climat - ont pu démontrer que lorsqu'on tend à diminuer sensiblement la consommation d'énergie à l'utilisation d'un bâtiment en travaillant sur la performance de l'enve-

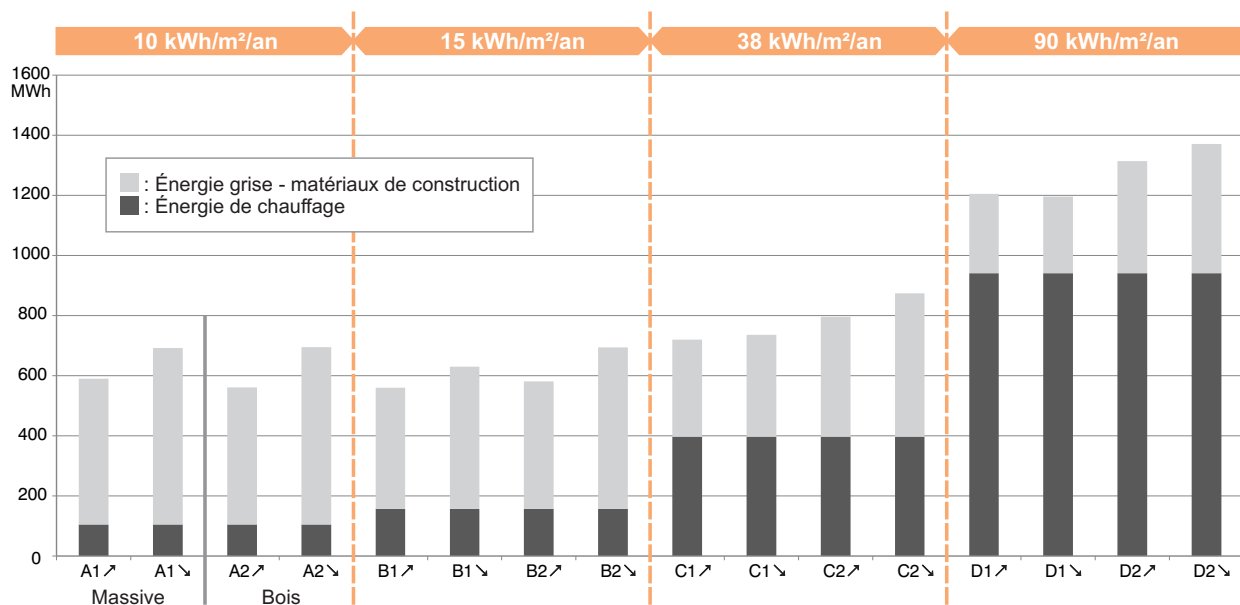
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



loppe, on consomme proportionnellement davantage de matériaux et donc davantage d'énergie grise, comme le présente l'illustration ci-dessous.

Cette énergie grise devient alors prédominante dans le bilan énergétique global et doit, à cet effet, être un critère prépondérant dans le choix des matériaux de construction.



Les comparaisons «énergie grise / énergie de chauffage» sont basées sur un modèle de «maison individuelle», suivant quatre niveaux de performance (heating demand)

- [D]: proche de 90 kWh/m².an;

- [C]: 38 kWh/m².an;

- [B]: 15 kWh/m².an;

- [A]: 10 kWh/m².an.

Le système de chauffage a été considéré avec un rendement global de 80 %. Celui-ci est produit à partir de gaz naturel avec un niveau de potentiel de réchauffement climatique (GWP) de 231 g éq CO<sub>2</sub>/kWh<sub>PC</sub>.

Chaque niveau de performance correspond à une épaisseur spécifique des matériaux d'isolation pour chaque composition de la paroi.

Deux typologies constructives ont été définies (massive et à ossature). Pour chacune de ces typologies, selon le type de mur, les auteurs ont défini des compositions de murs avec divers matériaux. Deux cas ont été retenus pour la définition des murs :

- [↗] matériau avec un potentiel important de réchauffement climatique

- [↘] matériau avec un faible potentiel de réchauffement climatique

Les comparaisons ont été faites sur 50 ans, en tenant compte du remplacement et de l'élimination de certains matériaux

### 3.3.2.3. Rapport entre « énergie grise » et durée de vie

Dans le secteur industriel de la construction, certains procédés de fabrication sont également très énergivores. Ce sont essentiellement les procédés impliquant une montée importante en température sur une durée de temps relativement longue. Il s'agit notamment des procédés industriels liés à la fabrication des ciments, à la fabrication des produits en terre cuite, à la fabrication des métaux, mais également à la fabrication des panneaux dérivés du bois. Cette demande importante en énergie doit être mise en parallèle avec la durée de vie des matériaux (au-delà de 100 ans pour les bétons, la terre cuite et les métaux).

Exemple:

L'énergie grise totale nécessaire à la fabrication d'une brique de terre cuite est de 2,85 MJ/kg. Cette valeur peut être divisée par la durée de vie du matériau (100 ans). On obtient ainsi une valeur équivalente à 0.0285 MJ/kg.

L'énergie grise totale à la fabrication d'un enduit au plâtre est de 1,72 MJ/kg. Cette valeur peut être divisée par la durée de vie du matériau (30 ans). On obtient ainsi une valeur équivalente à 0.0573 MJ/kg.

### 3.3.2.4. Ressources fossiles et matières premières

Le pétrole et ses dérivés sont aussi, mais dans une moindre mesure, utilisés en tant que matière première dans différents procédés de fabrication de matériaux de construction: matières plastiques, étanchéités, isolations, colles, peintures,



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



solvants...

Ces différents matériaux ont, pour la plupart, été développés dans la période de l'entre-deux-guerres et sont aujourd'hui devenus indispensables tant dans notre quotidien que dans nos modes constructifs.

Il est donc primordial de préserver les ressources énergétiques pour la production de ces matières plastiques ou synthétiques plutôt que de les utiliser en tant que combustible.

### 3.3.2.5. Principe d'économie d'énergie grise

La rénovation de bâtiments scolaires existants représente déjà une forte économie d'énergie grise par rapport à la construction de bâtiments neufs puisqu'elle permet:

- de conserver au minimum la structure du bâtiment, soit une économie d'environ 626kWh par m<sup>3</sup> de béton armé conservé ;
- de profiter des réseaux existants (électricité, gaz, transports,...);
- de limiter la quantité de déchets (par rapport à une démolition complète et une reconstruction)

Cependant, l'énergie grise peut encore être réduite lors de la rénovation et cela de manière suivante:

- par le choix de matériaux et de produits de construction peu énergivore (sur l'ensemble du cycle de vie) et locaux ;
- par le choix de matériaux et de produits de construction ayant une durée de vie importante (> 30 ans) et demandant peu d'entretien ;
- par un aménagement intérieur des bâtiments et des locaux permettant à ceux-ci de s'adapter facilement aux futurs besoins d'occupation et aux transformations.

#### Moyens à mettre en œuvre pour conserver l'adaptabilité des bâtiments à rénover

Les moyens à mettre en œuvre sont les suivants:

- privilégier les techniques sèches ou techniques démontables
- privilégier une trame ou une modularité
- privilégier les modes de fixation mécanique qui permettent un démontage plus aisé
- privilégier les techniques apparentes
- sur-dimensionner certains équipements

### 3.3.3. Impact environnemental des matériaux de construction

L'utilisation importante de matières, d'énergie et de matériaux de construction a des conséquences importantes sur l'environnement et sur la santé à la fois des ouvriers du secteur de la construction et des occupants des bâtiments. Ces impacts environnementaux et sanitaires doivent être considérés sur l'ensemble du cycle de vie de ceux-ci, depuis l'extraction de matières premières nécessaires à la fabrication jusqu'à la fin de vie du produit

#### 3.3.3.1. Pollution atmosphérique

L'extraction des matières premières, les processus de fabrication, la mise en œuvre sur chantier, le traitement en fin de vie et les phases de transports – essentiellement à base de combustibles fossiles – sont des processus qui émettent des polluants atmosphériques dont les plus importants sont le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>, les oxydes d'azote NO, les composants organiques volatils COV, les particules fines à très fines,...

Ces différents polluants sont à l'origine de dommages importants sur l'environnement tels que le réchauffement climatique, l'acidification de l'air, des eaux et du sol, la réduction de la couche d'ozone et la formation d'ozone troposphérique.

#### → Effet de Serre – Global Warming Potential

Les principaux gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère sont la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et l'ozone (O<sub>3</sub>). L'eau, sous forme de vapeur ou de nuage, est le gaz à effet de serre le plus important en quantité. Elle contribue à raison de 60 % à l'effet de serre total

Les gaz à effet de serre additionnels ou anthropiques jouent également un rôle important, car l'effet de serre qu'ils produisent est très intense. Outre les principaux gaz déjà cités ci-dessus, ils sont constitués des gaz fluorés comme les hydrofluorocarbones (HFC), les chlorofluorocarbures (CFC), les polyfluoro-carbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le principal (en quantité) gaz à effet de serre produit par l'activité humaine, 74 % du total

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



(tous modes d'émission réunis).

Chaque gaz à effet de serre a un effet différent sur le réchauffement global. Par exemple, sur une période de 100 ans, un kilo de méthane a un impact sur l'effet de serre 25 fois plus fort qu'un kilo de CO<sub>2</sub>.

Pour comparer les émissions de chaque gaz en fonction de leur impact sur les changements climatiques, on utilise une unité commune, à savoir l'équivalent CO<sub>2</sub>. L'équivalent CO<sub>2</sub> est aussi appelé potentiel de réchauffement global (PRG). Il vaut 1 pour le dioxyde de carbone qui sert de référence.

Le potentiel de réchauffement global d'un gaz est la masse de dioxyde de carbone qui produirait un impact équivalent sur l'effet de serre. Par exemple, le méthane a un PRG de 25, ce qui signifie qu'il a un pouvoir de réchauffement 25 fois supérieur au dioxyde de carbone.

Type de polluant	Formule	GWP	Equivalent Carbone (par kg émis)
vapeur d'eau	H <sub>2</sub> O	8	2,18
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1	0,273
Methane	CH <sub>4</sub>	25	6,82
Protoxyde d'azote	N <sub>2</sub> O	298	81,3
Dichlorodifluorométhane	Cl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	6200 to 7100	1690,74
Tétrafluorométhane	CF <sub>4</sub>	6500	1772,55
Héxafluorure de soufre	SF <sub>6</sub>	22 800	6217,56

PRG et Equivalent Carbone de divers polluants atmosphériques - Source: IPCC, 4th Assessment report (2007)

### → Acidification – Acidification Potential

À partir des années 70, les dépôts atmosphériques de soufre ont été désignés comme responsables du dépérissement de certaines forêts en Allemagne et en Scandinavie. Aujourd'hui, quelque 14 000 lacs suédois sont affectés par ce phénomène d'acidification, avec comme conséquence des dommages considérables sur la vie végétale et animale<sup>1</sup>.

Il est maintenant scientifiquement prouvé que les rejets anthropiques d'oxydes de soufre (SO<sub>2</sub>), d'oxydes d'azote (NOx), d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et de chlore (HCl) dans l'environnement ont tous un effet acidifiant sur les sols et les eaux naturelles. Ces substances, transportées dans l'atmosphère sur de longues distances par rapport au lieu d'émission, forment une pollution diffuse et transfrontière. L'acidification atmosphérique est donc un phénomène régional et/ou continental et non un phénomène global comme le réchauffement climatique.

L'azote d'origine anthropique est émis dans l'atmosphère essentiellement sous forme d'oxyde d'azote (NOx) produit par la combustion d'énergies fossiles, d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), utilisé dans l'agriculture comme fertilisant ou produit par le bétail d'élevage et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de monoxyde d'azote (NO) produits par la transformation microbienne de fertilisants azotés.

### Acidification Potential « ou potentiel d'acidification atmosphérique

Pour déterminer une contribution à l'acidification atmosphérique, on détermine une valeur de potentiel d'acidification (AP) en kilo équivalent SO<sub>2</sub>. L'équivalent SO<sub>2</sub> vaut 1 pour le dioxyde de soufre qui sert de référence. Le potentiel d'acidification global d'un gaz est le facteur par lequel il faut multiplier sa masse pour obtenir une masse de SO<sub>2</sub> qui produirait un impact équivalent sur l'acidification.

### → Eutrophisation – Eutrophication Potential

L'eutrophisation est un phénomène environnemental qui a d'abord été décrit pour les eaux de surface et les eaux côtières. Ce phénomène local correspond à une augmentation de la prolifération d'algues (suivie de leur dégradation) qui conduit à une désoxygénation partielle ou totale du milieu aquatique. C'est l'expression du déséquilibre qui résulte d'un apport excessif de nutriments dont notamment l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites) et le phosphore (contenu dans les phosphates). Ce déséquilibre est toutefois accéléré par les rejets anthropiques de nutriments ayant comme origines les épandages agricoles excessivement riches en engrais (azote et phosphore) et les rejets anthropiques riches en nitrates, ammoniac et matières organiques non traitées.

L'eutrophisation s'observe surtout dans les écosystèmes dont les eaux se renouvellent lentement et en particulier dans les lacs profonds. Les littoraux et les estuaires ne sont pas épargnés, car leurs eaux sont peu brassées et reçoivent beaucoup de rejets issus de l'activité humaine. Le concept de l'eutrophisation des eaux a été étendu aux écosystèmes terrestres. Ce phénomène génère à la fois un problème de perte de biodiversité et un problème de fragilisation des écosystèmes vis-à-vis des dépôts acidifiants, des parasites et des intempéries.

L'eutrophisation terrestre est généralement provoquée par des apports excédentaires en azote et par son accumulation dans l'écosystème. Elle a pour effet de modifier la flore existante au profit d'espèces qui poussent préférentiellement dans les milieux riches en azote. Ces espèces deviennent dominantes et occupent donc progressivement l'espace et la lumière

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



disponibles. À terme, on observe donc une disparition d'espèces et une baisse de la biodiversité.

### → Destruction de la couche d'ozone – Ozone Depletion Potential

Chaque année depuis plusieurs décennies, au cours du printemps dans l'hémisphère sud, les réactions chimiques impliquant le brome et le chlore entraînent la destruction rapide et sévère de la couche d'ozone dans la région polaire australe. La diminution de cette couche est appelée le « trou d'ozone ».

Les diminutions les plus importantes sont observées dans les régions polaires, en particulier en Antarctique, lors des périodes les plus froides. Ces diminutions sont dues aux émissions de certains polluants atmosphériques liés aux activités humaines. La cause est l'émission des molécules chimiques : les chlorofluorocarbones (CFC) et les halons, utilisés principalement dans l'industrie du froid, dans les bombes aérosols, en solvants pour l'industrie électronique, dans les mousses synthétiques et les agents extincteur.

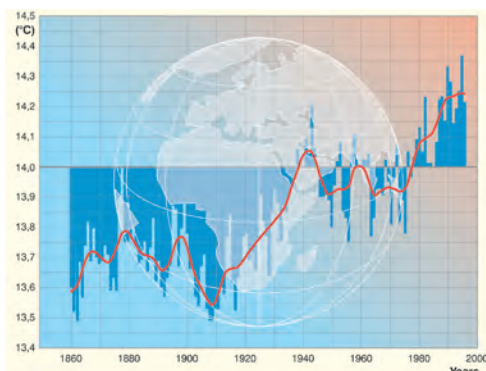
La couche d'ozone stratosphérique est essentielle à la vie sur terre, car elle la protège des rayonnements ultraviolets (UV) nocifs émis par le soleil. La surexposition aux rayons ultraviolets peut entraîner des effets nocifs pour la santé et pour l'environnement:

- effets sur la santé: à court terme, une augmentation des effets «coup de soleil» et des brûlures superficielles, à long terme, une augmentation des maladies et cancers de la peau, un affaiblissement du système immunitaire et une augmentation des affections oculaires
- effets sur l'environnement: la réduction de la photosynthèse et le ralentissement de croissance des végétaux, la disparition du plancton et la diminution de l'immunité face aux maladies infectieuses, ce qui entraîne une diminution de la biodiversité à long terme.

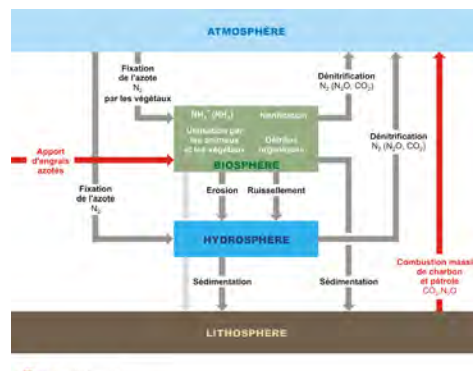
Chacune de ces molécules chimiques a un effet différent sur la diminution ou dégradation de la couche d'ozone en haute atmosphère, appelé Potentiel de destruction de la couche d'ozone (PDO ou ODP en anglais). Cette « échelle » a pour objectif de classer la nocivité de l'action de différents gaz - principalement les chlorofluorocarbures (CFC) - sur la couche d'ozone. La référence de cette échelle est le trichlorofluorométhane (CFC-11), qui a pour potentiel de destruction la valeur 1,0. Ce potentiel est donc, pour un composé autre que le CFC-11, le rapport de la perte globale d'ozone due à ce composé sur la perte globale d'ozone due à un même masse CFC-11.

La plupart des CFC ont un PDO proche de 1 :

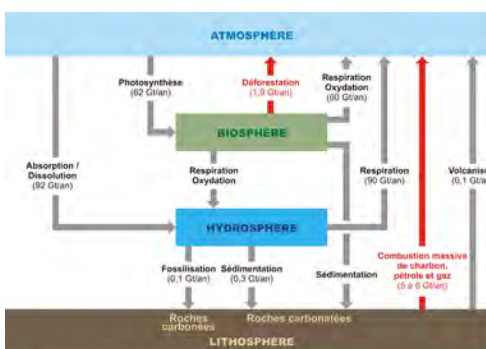
- les composés bromés ont un PDO plus élevé (généralement entre 5 et 15) du fait de la plus grande réactivité du brome avec l'ozone ;
- les hydrofluorocarbures (HCFC) ont un potentiel plus bas (entre 0,005 et 0,2) de par la présence d'hydrogène qui les



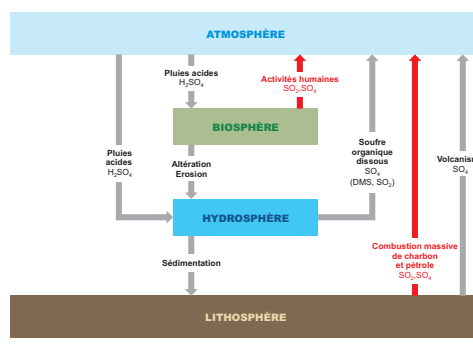
Le réchauffement climatique depuis 1860



Le cycle de l'azote



Le cycle du carbone



Le cycle du soufre

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Afin de limiter l'émission de polluants atmosphériques (liée à l'industrialisation des matériaux de construction), on favorisera l'utilisation:

- de matériaux locaux et/ou transportés via des modes de transport peu polluants
- de matériaux dont le procédé de fabrication n'utilise pas ou peu de substances nocives pour l'environnement;
- des matériaux «bois» ou d'origine végétale, s'ils proviennent de forêts et cultures durablement gérées;
- des matériaux dont les procédés de fabrication utilisent des énergies renouvelables (biomasse, solaire, hydraulique)

rend réactifs dans la troposphère.

### → Création d'ozone photochimique – «Photochemical Ozone Creation Potential»

Contrairement aux risques de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, la quantité d'ozone contenu dans la troposphère (0-12 km) a augmenté d'un facteur 5 dans l'hémisphère nord depuis la fin du siècle dernier sous l'effet de la pollution anthropique émise principalement par le trafic routier et aérien, les industries, centrales thermiques, etc. Les conséquences de cette évolution sont importantes pour la santé, la végétation et pour l'effet de serre.

Lors des journées ensoleillées, le rayonnement solaire provoque des réactions chimiques dans l'atmosphère impliquant des polluants primaires également appelés « gaz précurseurs » comme les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>, regroupés sous le terme NO<sub>x</sub>) et les composés organiques volatils (COV).

Ces réactions chimiques complexes donnent naissance à des photo-oxydants, dont le plus connu dans nos régions est l'ozone (O<sub>3</sub>), molécule formée de trois atomes d'oxygène. Ce phénomène est connu sous le nom de « pic d'ozone » et est assez fréquent en période estivale puisqu'en été, la stabilité de la masse d'air limite la dispersion des polluants.

Le Potentiel de création d'ozone photochimique (PCOP) d'un composé chimique est la formation additionnelle théorique d'ozone dans la troposphère par rapport à la situation de base. Cette « échelle » a pour objectif de classer l'impact de ces différents gaz précurseurs - principalement les oxydes d'azote, le carbone et les COV - sur la formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère. La référence de cette échelle est l'éthylène (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) qui a pour potentiel de formation une valeur de 1,0.

### 3.3.3.2. Impact sur le paysage et la biodiversité

L'utilisation de certaines matières premières ou de certains matériaux peut avoir des conséquences dommageables sur le paysage, sur la biodiversité et les écosystèmes existants. C'est le cas notamment de l'exploitation du bois qui peut, lorsqu'elle n'est pas gérée durablement, entraîner la déforestation de grandes superficies boisées. C'est aussi le cas de certaines carrières de granulats ou matières pierreuses ou encore de certaines extractions de minéraux ou métaux,...

Afin de limiter l'impact sur le paysage et la biodiversité, on favorisera:

- les matériaux «bois» ou d'origine végétale provenant de forêts et de cultures durablement gérées;
- les matériaux pierreux provenant de carrières belges ou européennes, soumises à des règlements stricts en termes de respect de l'environnement;
- les matériaux «bois et dérivés» certifiés FSC ou PEFC;
- les matériaux fabriqués à partir de matières recyclées;

### 3.3.3.3. Production de déchets

La fabrication, la mise en œuvre et la démolition entraîne inévitablement une production de déchets. Si la plupart des déchets de construction ont actuellement la capacité intrinsèque d'être valorisés, la plupart d'entre-deux, par manque de moyens techniques ou par la difficulté de désassemblage et de tri (lors de la démolition) sont encore traités de manière traditionnelle par incinération ou mise en centre d'enfouissement technique (CET). Ces filières traditionnelles de traitement de déchets ont un impact non négligeable sur l'environnement (pollution atmosphérique, risques de pollution du sol ou des ressources en eau,...), sont souvent coûteuses et leur exploitation sera limitée dans les prochaines années (selon les normes européennes).

*Exemple - Matériaux inertes (béton, briques,...) :*

- prix moyen du recyclage : 8.5€/tonne (source : MEDECO)

- prix moyen de mise en CET : 10€/tonne (source : MEDECO)

*Fabrication d'aluminium:*

- 116.1 MJ/kg (à partir de matières premières extraites source : ECOSOFT)

- 19.5 MJ/kg (à partir de déchets d'aluminium recyclés - source : ECOSOFT)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Afin de limiter la production de déchets de construction, on favorisera:

- durant la phase de conception:
  - la réalisation de métrés et de plans précis de manière à évaluer correctement la quantité de matières à mettre en œuvre;
  - l'utilisation de matériaux préfabriqués, aux dimensions standardisées et/ou en vrac afin de limiter les découpes et les chutes sur chantier;
  - l'utilisation de matériaux recyclables et réellement recyclés
- durant la phase de chantier:
  - le tri des déchets produits par les travaux de démolition et de mise en œuvre. Les déchets seront évacués vers les filières de recyclage;
  - les fixations et assemblages mécaniques qui permettent un démontage ultérieur plus aisé et qui facilitent le tri;

### 3.3.3.4. Impacts sur la santé

« Les enfants sont notre avenir et l'avenir du développement durable commence par la protection de la santé de nos enfants » Kofi Annan, secrétaire général des Nations Unies, 2003

La qualité de l'air que nous respirons, que ce soit à l'extérieur des bâtiments ou à l'intérieur est un facteur influençant sensiblement notre santé. Selon l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS):

- la pollution de l'air représente un risque environnemental majeur pour la santé. En diminuant les niveaux de pollution atmosphérique, on peut aider les pays à réduire la charge mondiale de morbidité imputable aux infections respiratoires, aux cardiopathies et au cancer du poumon;
- la santé respiratoire (à court et à long terme) et cardiovasculaire de la population d'une ville dépend directement du niveau de pollution de l'air;

Si dans les pays en voie de développement, de nombreux décès peuvent être attribués à des environnements malsains (mauvaise qualité de l'eau, paludisme, assainissement insuffisant, forte pollution de l'air intérieur par fumées de cuisson et de chauffage...), les pays occidentaux sont principalement touchés par les maladies allergiques et les cancers qui affectent l'ensemble de la population, y compris un grand nombre d'enfants.

Ainsi, le projet européen EnVIE3 a démontré l'influence d'une mauvaise qualité de l'air sur l'apparition de maladies.

Exemple:

En Belgique, annuellement, 12.000 cas d'asthme ainsi que 10.000 cas de maladies cardiovasculaires, 3000 cas de cancer des poumons ou 12.000 cas de SBS (syndrome du bâtiment malsain) sont dus à une mauvaise qualité de l'air intérieur. L'étude montre que sur la totalité des cas de pathologie précédemment évoqués en Belgique, 7000 cas par an verraient leur origine dans la présence de COV à des concentrations trop élevées.

Que ce soit en manipulant les matières premières et les matériaux de construction ou durant nos activités quotidiennes dans nos environnements extérieur et intérieur, nous sommes en permanence en contact direct avec des « polluants » physiques et chimiques. Ces polluants physiques et chimiques sont d'une part dégagés par les matières et matériaux eux-mêmes et d'autre part présents dans l'air que nous respirons. Dans les deux cas, ces polluants peuvent provoquer des nuisances allant d'une simple irritation des mains ou des yeux (lors d'une manipulation) à une irritation des voies respiratoires dont les effets peuvent aller d'affections temporaires à des dysfonctionnements respiratoires permanents ou des maladies chroniques.

Les poumons et le système respiratoire sont la première cible de ces polluants. En effet, nos poumons représentent une surface de près de 90 m<sup>2</sup> en contact, chaque jour avec environ 15 m<sup>3</sup> d'air, soit près de 20 kg, alors que l'ingestion quotidienne d'eau n'est que d'environ 2 kg et celle des aliments de 1 à 2 kg.

Nous n'aborderons dans ce chapitre ni la pollution électromagnétique, ni la pollution par les biocontaminants. La pollution électromagnétique est constituée pas les champs électriques et magnétiques présents dans notre environnement et dus à l'activité humaine. Par biocontaminant, on entend polluant d'origine biologique. L'occupation d'une habitation génère ce type de polluants par la présence d'êtres humains, d'animaux, de plantes et de végétaux, d'acariens...

Ce domaine de recherche est relativement récent et complexe. De nombreuses inconnues demeurent, notamment sur les matières premières « nocives » introduites dans les procédés de fabrication ou de mise en œuvre, sur la manière dont celles-ci réagissent au sein du matériau, sur la manière dont celles-ci réagissent à un taux d'humidité plus ou moins important, en quelle quantité ces substances deviennent réellement nocives pour la santé,... Une étude approfondie nécessiterait:

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



- des données techniques sur la composition des matériaux et la concentration de substances toxiques;
- des données scientifiques concernant les émissions spécifiques à chaque matériau de construction (polluants primaires) et à un ensemble de matériaux constitués en parois (type de polluant, quantité émise, durée d'émission...);
- des données scientifiques sur le potentiel de création de polluants secondaires en présence de plusieurs polluants primaires et du contexte hygrothermique.

Les émissions de polluants primaires sont provoquées par les composants des matériaux.

D'après les docteurs Déoux, ces émissions sont importantes immédiatement après la fabrication, diminuent de 60 à 70% au cours des six premiers mois et disparaissent généralement après un an de mise en œuvre ou d'utilisation.

La plupart des procédés de fabrication utilisent de nombreuses substances toxiques telles que les métaux lourds (plomb, cadmium, mercure, zinc et arsenic), les biocides, les fongicides, certains solvants (toluène, benzène, xylène), les composés organiques volatils COV (formaldéhyde) et certains additifs (retardateurs de flammes,...).

Ces substances se retrouvent essentiellement dans les matériaux de para-chèvement et de finition tels que produit de traitement du bois (préservation et finition), vernis et peintures, matériaux d'étanchéité et de rejointoiement, colles, certains enduits, certains revêtements de sol (tapis plain, vinyle,...).

De plus la mise en œuvre de certains matériaux, telles que les isolants à base minérale peut engendrer la dispersion dans l'air et l'inhalation de fibres. Celles-ci sont classées par l'Union européenne en catégorie 3 (effets cancérigènes possibles mais insuffisamment évalués), peuvent provoquer des irritations de

la peau, des yeux et des voies respiratoires (risques démontrés) et potentiellement des maladies respiratoires voir un cancer des voies respiratoires.

Ces substances chimiques ont des effets non négligeables sur la santé des êtres vivants et sur l'environnement. C'est pourquoi, il existe aujourd'hui des règlements européens permettant d'enregistrer, d'évaluer, d'autoriser ou de restreindre l'utilisation de certaines substances. Il s'agit des règlements:

- **REACH**: règlement (CE) N° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006. Le règlement européen REACH oblige les entreprises qui fabriquent et importent des substances chimiques à évaluer les risques résultant de leur utilisation et à prendre les mesures nécessaires pour gérer tout risque identifié. REACH fait porter à l'industrie la responsabilité d'évaluer et de gérer les risques posés par les produits chimiques et de fournir des informations de sécurité adéquates à leurs utilisateurs.
- **CLP**: règlement (CE) N° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges. Le règlement CLP impose également le cadre réglementaire pour la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses. Il a pour objectif d'assurer la protection des personnes (qui peuvent entrer en contact avec elles) et celle de l'environnement. La classification permet d'identifier les dangers que peuvent présenter les produits chimiques du fait de leurs propriétés physico-chimiques, de leurs effets sur la santé et sur l'environnement.

Afin de limiter l'impact des matériaux sur la santé, on privilégiera:

- les traitements de surface (préservation et finition) en phase aqueuse ou en dispersion, sans composés organiques volatils (COV) et permettant un entretien aisé sans produits nocifs ;
- les matériaux de finition (sol, mur, plafond) d'origine naturelle ou peu transformés, pouvant être mis en œuvre par fixation mécanique, sans sources allergènes, sans émissions radioactives (ex : certains plâtres ou enduits), sans présence de fibres bio-persistantes (présentes dans certains isolants) et permettant un entretien aisé sans produits nocifs ;
- les matériaux labellisés, notamment les colles, les peintures, les revêtements de sol minces et les produits de traitement du bois,...

On limitera l'usage de matières fibreuses pouvant entraîner un risque potentiel pour le placeur et l'utilisateur. On prévoira également une ventilation correcte et suffisante des espaces intérieurs.

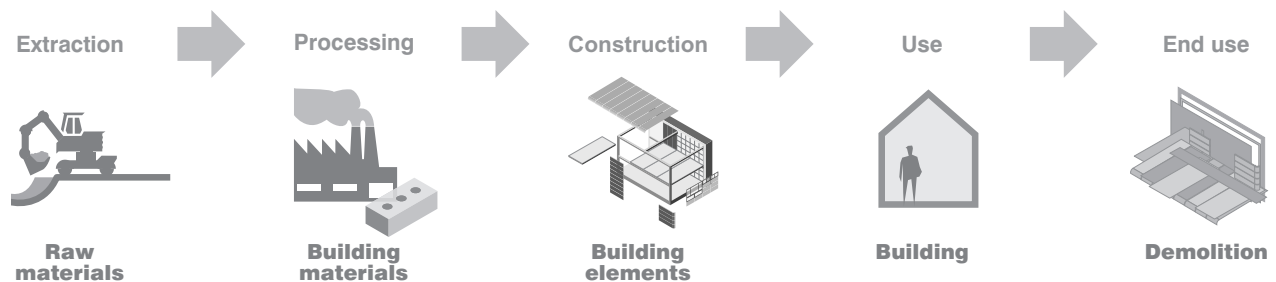
### 3.3.4. Choix des matériaux de construction: objectifs et actions en rénovation

En termes de construction « durable », choisir de manière responsable et citoyenne un matériau ou un produit de construction signifie donc tenir compte, sur toute la durée de vie de celui-ci, de :

- un bilan de performances techniques et/ou physiques
- un bilan environnemental

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



- un bilan énergétique
- un bilan « santé » (ouvriers et occupants)
- un bilan économique

Réaliser ces 5 bilans n'est pas une chose facile à réaliser, essentiellement par manque de données objectives et quantifiables pour le bilan environnemental et le bilan « santé »

C'est pourquoi, l'objectif de ce chapitre est de déterminer les actions et les lignes de conduites permettant de limiter les impacts environnementaux et santé des matériaux et des techniques de construction.

### 3.3.5. Principes directeurs lors du choix des matériaux et principes constructifs

Aujourd'hui, penser une rénovation d'un bâtiment doit se faire en tenant compte du cycle de vie à venir du bâtiment et en menant une réflexion dès la phase de conception sur la nouvelle programmation, la volumétrie, certains nouveaux principes constructifs (dans le cas d'une extension ou d'une rénovation lourde) et le choix des matériaux, de façon à privilégier un potentiel d'évolution et à faciliter les changements futurs tout en minimisant son impact environnemental et sanitaire.

L'objectif est d'offrir au bâtiment et à ses composants un prolongement de cycle d'utilisation. Il y a dans cette idée deux champs d'action complémentaires :

- **Au niveau du bâtiment** : le concept d'évolutivité et de flexibilité, visant l'adaptabilité du bâtiment aux besoins changeants.
- **Au niveau des matériaux** : la valorisation du cycle de vie et le choix des matériaux, valorisant la capacité de désassemblage et de traitement ou de reconversion.

C'est pourquoi les principes proposés ci-après peuvent se situer sur deux échelles distinctes: des critères de choix liés au cycle du bâtiment et des critères de choix liés au cycle du matériau proprement dit.

Au niveau du bâtiment à rénover, on peut citer les principes suivants:

#### 3.3.5.1. Rationaliser l'usage des matériaux de construction lors de la rénovation

Nous pourrions reprendre ici la maxime de Ludwig Mies van der Rohe « Less is more » pour clairement exprimer ce principe de rationalisation. Mies van der Rohe utilise cette expression pour exprimer son engouement et son attrait pour le minimalisme. Nous utiliserons cette expression pour son sens premier, à savoir que le matériau qui n'aura pas d'impact sur l'environnement et la santé est celui qui ne sera pas mis en œuvre, qui ne sera pas utilisé, qui ne sera pas fabriqué... En termes de rationalisation de la matière, on peut souligner plusieurs principes qui guideront le processus de conception.

##### → Principe 1

Le premier principe consiste à **mettre en adéquation le système constructif choisi avec la durée de vie du bâtiment dans lequel le système s'inscrit**. En effet, selon la destination du bâtiment, son implantation et l'évolution des besoins, la durée de vie d'un bâtiment peut varier. Les matériaux choisis doivent donc avoir une durée de vie adaptée à celle du bâtiment ou du moins qui s'en rapproche. Dans le cas d'un bâtiment de courte durée de vie (5 à 20 ans), le concepteur favorisera des techniques constructives démontables et des matériaux de construction facilement désolidarisables. Ces techniques permettent une déconstruction aisée et/ou une évolution du bâtiment en limitant l'impact environnemental.

##### → Principe 2

Le second principe, complémentaire au premier, consiste à **choisir un système constructif qui permette l'évolutivité, la flexibilité et/ou l'adaptabilité des constructions de manière à augmenter leur durée de vie**. L'adaptabilité d'un bâtiment traduit sa capacité à subir, sans altérer son usage ni les services qu'il rend, des changements à moindre coût

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



environnemental (matières premières, énergie, déchets et rejets).

### → Principe 3

Le troisième principe consiste à **encourager les techniques d'assemblage et de fixation mécaniques qui permettent la préfabrication ou le pré-montage en usine, notamment pour les parachèvements et les revêtements**. En effet, ces différentes techniques offrent les avantages suivants : rationalisation de la quantité de matériaux mis en œuvre, réduction des transports vers le chantier de construction, réduction des déchets produits sur chantier, amélioration « potentielle » de la qualité et des performances des éléments préfabriqués, conditions de travail améliorées pour les ouvriers, optimisation et maîtrise des procédés de montage, rapidité d'exécution sur chantier – les interventions se limitant essentiellement à l'assemblage d'éléments importants – réduction des coûts grâce à la maîtrise accrue des procédés de fabrication et à la réduction de main-d'œuvre sur chantier... La préfabrication aura aussi pour avantage de développer une « construction sèche » qui permet non seulement de s'affranchir des contraintes météorologiques, mais également de limiter la consommation d'eau sur le chantier.

### → Principe 4

Le quatrième principe consiste à **optimiser le dimensionnement des éléments de construction en ayant recours à des dimensions commerciales et standardisées**. Ce principe est plus difficilement applicable en rénovation où les dimensions existantes doivent être respectées.

### → Principe 5

Le cinquième et dernier principe de rationalisation **consiste à favoriser la mise en œuvre de matériaux « bruts de finition » en limitant l'utilisation de matériaux de parachèvement et de finition**. En effet, les matériaux de parachèvement et de finition sont des matériaux de plus en plus complexes associant de nombreuses substances et additifs. Ils sont donc susceptibles d'émettre plus de polluants et d'avoir ainsi plus d'effets « négatifs » sur la qualité de l'air intérieur et sur la santé de l'être humain. Laisser des matériaux « bruts de finition » signifie également maximiser leur potentiel de recyclabilité en évitant de les mélanger à d'autres matériaux. Ce type de finition nécessite cependant une mise en œuvre sur chantier de très grande qualité puisqu'aucune couche supplémentaire ne viendra cacher les défauts éventuels.

#### 3.3.5.2. Optimiser l'entretien et le maintien des performances pendant la durée de vie du bâtiment.

Une fois mis en œuvre, les matériaux ou éléments de construction doivent remplir leur fonction le plus longtemps possible sans perte de performance. Trois principes de choix liés à la maintenance et au maintien des performances peuvent être mis en exergue.

### → Principe 1

Le premier principe consiste à **optimiser la compatibilité des matériaux et des systèmes constructifs avec l'usage ou la fonction auxquels ils doivent répondre**. Le matériau de construction doit d'abord être choisi, selon ses performances, en fonction de l'usage et des exigences auxquels il doit répondre.

*Le choix d'un revêtement de façade se fera par exemple en fonction de la résistance aux conditions climatiques extérieures. Les matériaux en contact avec l'ambiance intérieure seront sélectionnés en fonction de leur résistance aux chocs, à l'humidité ou encore de la présence de certains produits...*

### → Principe 2

Le second principe consiste à **choisir des matériaux ayant une durée de vie importante et ne nécessitant pas ou peu d'entretien**.

### → Principe 3

Le troisième et dernier principe est complémentaire au deuxième et consiste à **faciliter l'entretien, la réparation et/ou le remplacement des éléments de construction**. L'ensemble des éléments de construction, essentiellement les éléments de façade (parement, protections solaires, garde-corps, seuils...) et les éléments en contact avec l'ambiance intérieure (revêtements de sol, plafonds et murs), doivent être facilement accessibles pour permettre leur entretien, maintenance ou réparation sans intervention lourde, sans gêne pour les occupants et sans altération des éléments auxiliaires. Il en est de même pour les installations techniques.

#### 3.3.5.3. Optimiser la fin de vie en rénovation : faciliter la déconstruction, favoriser le tri et le réemploi

La fin de vie des matériaux de construction est une phase importante du cycle de vie, surtout si les objectifs sont, d'une part, de réduire la consommation des ressources et, d'autre part, de minimiser la production de déchets à traiter.

La phase de fin de vie est constituée de deux étapes: la démolition (ou déconstruction) et le devenir des déchets.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Déconstruire un bâtiment, c.-à-d. le démonter ou le désassembler, présente l'avantage de faciliter le tri sur chantier et de permettre ainsi une meilleure valorisation des déchets. Si les déchets sont triés correctement, ils pourront plus facilement être réemployés et/ ou valorisés dans les filières de recyclage.

L'optimisation de la fin de vie de certaines parties ou certains composants d'un bâtiment, lors d'une rénovation, peut se faire suivant deux principes.

### → Principe 1

Le premier principe consiste à **faciliter la déconstruction ou le démontage des composants en prévoyant - lors de la conception et du dossier d'exécution - une démolition sélective du bâtiment** : plans as-built, dossier d'intervention ultérieure, détails techniques tels que réalisés, inventaire et métré précis des matériaux mis en œuvre (déchets potentiels) ainsi que leurs fiches techniques. *Ce principe s'applique davantage à de la reconstruction ou à de la construction neuve mais peut être intégré dans certaines rénovations.*

### → Principe 2

Le second principe consiste à favoriser le réemploi de matériaux, plus particulièrement dans le cadre de projets de rénovation. La question à poser chaque fois que l'on est face à un élément, produit ou matériau dont on voudrait se défaire, n'est plus « est-il encore à la mode, n'est-il pas périmé ? » mais « quelle est la dose de travail que l'on y a investie, quelle est la quantité de matière, d'énergie et de travail que j'épargne, quelle est la quantité de rejets évités? ».

Une fois la question posée, on se rend compte que, excepté le cas d'une forte obsolescence technique et mis à part les éléments de maçonnerie et de béton armé, tout élément de construction peut être réutilisé.

Au niveau du choix des matériaux lors de la rénovation, on peut citer les critères environnementaux et sanitaires suivants :

### 3.3.5.4. *Limitier l'appauvrissement des ressources en développant 3 axes d'action: économie de matière, choix et origine de la matière et réutilisation de la matière.*

#### → Principe 1

Le premier principe consiste à **choisir des matériaux issus des filières de réemploi et de recyclage en privilégiant la réutilisation ou le réemploi de matériaux provenant d'autres sites ou chantiers en déconstruction ou en rénovation ou en privilégiant l'utilisation de matériaux issus des filières de recyclage.**

Si le concepteur opte pour la réutilisation ou le réemploi de matériaux, il devra en avvertir rapidement ses conseillers techniques, car ce choix peut avoir des implications sur les performances atteintes par les éléments et le bâtiment dans son ensemble, ainsi que sur le dimensionnement des éléments techniques (luminaires, radiateurs...).

Favoriser les matériaux issus des filières de recyclage peut se faire soit en utilisant des matériaux dont le processus de fabrication utilise un pourcentage élevé de matières recyclées (flocons de cellulose, laine de verre, verre cellulaire... dans le cas d'un isolant), soit en utilisant des matériaux ayant un potentiel élevé de recyclabilité en fin de vie (acier, métaux, béton, briques... dans le cas de matériaux de gros œuvre).

Dans tous les cas, il est indispensable de connaître les filières effectives de recyclage : il ne sert à rien d'utiliser des matériaux à haut potentiel de recyclage si les filières n'existent pas ou sont fort éloignées (hors Europe proche).

De son côté, le concepteur, lorsqu'il sélectionne les matériaux de construction en vue de réaliser son projet de rénovation, peut également favoriser ou faciliter le recyclage des matériaux en :

- utilisant des matériaux « homogènes » c.-à-d. qui n'aient pas subi de transformation chimique;
- favorisant les matériaux non composites (plusieurs couches de différentes matières assemblées par collage);
- favorisant les matériaux facilement démontables.

#### → Principe 2

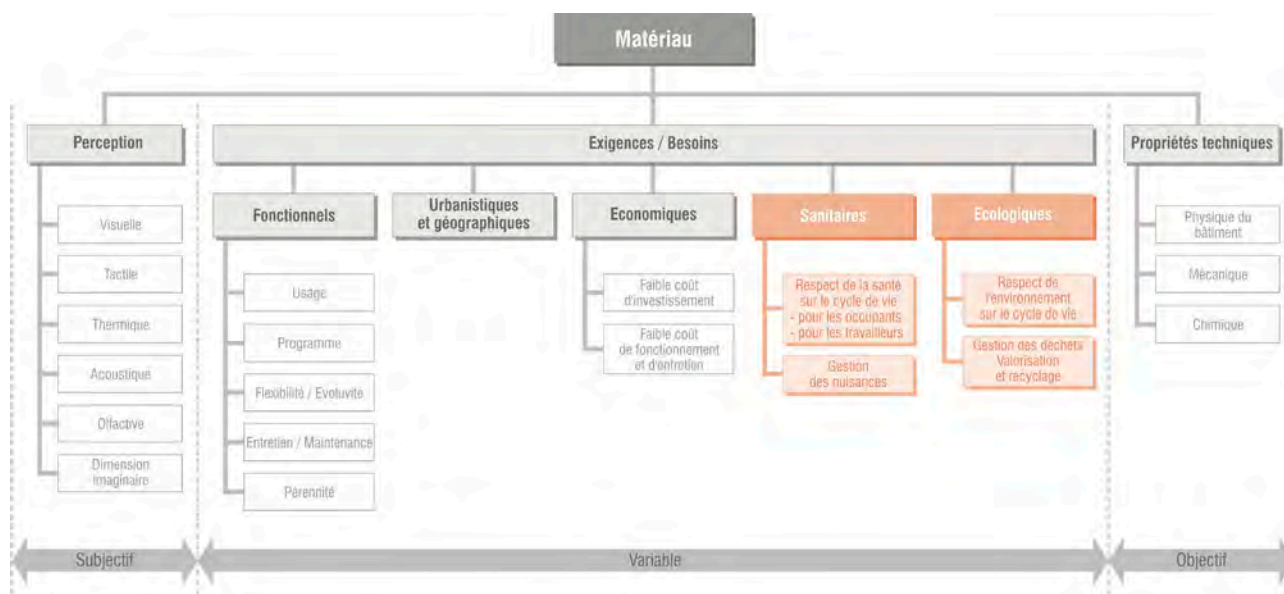
Le second principe consiste à **utiliser des matériaux issus de ressources renouvelables avec un taux de renouvellement élevé et/ou des matériaux issus de ressources non renouvelables, mais présentes en quantité élevée et disponibles sans intervention technique importante (extraction).** Ce principe vise à limiter autant que possible la surexploitation de certaines ressources et d'ainsi limiter les impacts sur l'environnement et la biodiversité.

#### → Principe 3

Le troisième principe consiste à choisir des matériaux ayant subi peu ou pas de transformations lors de la phase de production. En effet, plus le procédé de fabrication est complexe, plus celui-ci nécessite de transformations, plus son impact environnemental en termes de consommation d'énergie et de pollution atmosphérique sera conséquent. Il convient donc de privilégier des produits « finis » dont la matière reste proche de la matière première d'origine. Ce principe facilite éga-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Source : Sophie Trachte, *Matériau, matière d'Architecture Soutenable*, Phd Thesis, juin 2012

lement la valorisation et le recyclage des matériaux en fin de vie.

### → Principe 4

Le quatrième principe consiste à **choisir des matériaux de construction selon leur origine ou provenance géographique en tenant compte du mode de transport utilisé**. En effet, si la distance parcourue par un matériau de construction influence le bilan environnemental de celui-ci, le mode de transport utilisé pour parcourir cette distance a également un poids significatif dans le bilan environnemental.

Le concepteur veillera donc à choisir des matériaux locaux, régionaux ou provenant des pays proches, en limitant au maximum le transport par route. Il privilégiera également les acheminements directs depuis l'usine de fabrication.

Lors des démolitions, le concepteur veillera également à identifier les filières de traitement et/ou de recyclage qui sont à proximité de son chantier.

### → Principe 5

Le cinquième et dernier principe sur l'économie des ressources consiste à **privilégier les matériaux ayant un faible impact sur la consommation d'énergie grise**, en choisissant, pour une même fonction et à performance équivalente, un matériau dont l'ensemble des phases du cycle de vie est économe en énergie grise totale à savoir énergie grise renouvelable et non renouvelable. Lors de la comparaison de plusieurs produits de construction, remplissant de manière équivalente la même fonction, on prendra en compte les produits ou éléments qui maximisent le recours aux énergies renouvelables dans leur procédé de fabrication.

### 3.3.6. Impact environnemental, écobilan et outils d'évaluation environnementale

Dans le cadre d'une rénovation durable d'une école, le choix d'un matériau de construction devra se faire par une analyse multicritère basée:

- les caractéristiques techniques et physiques;
- son bilan environnemental;
- ses impacts sur la santé à la fois des ouvriers et des occupants;
- son coût économique.

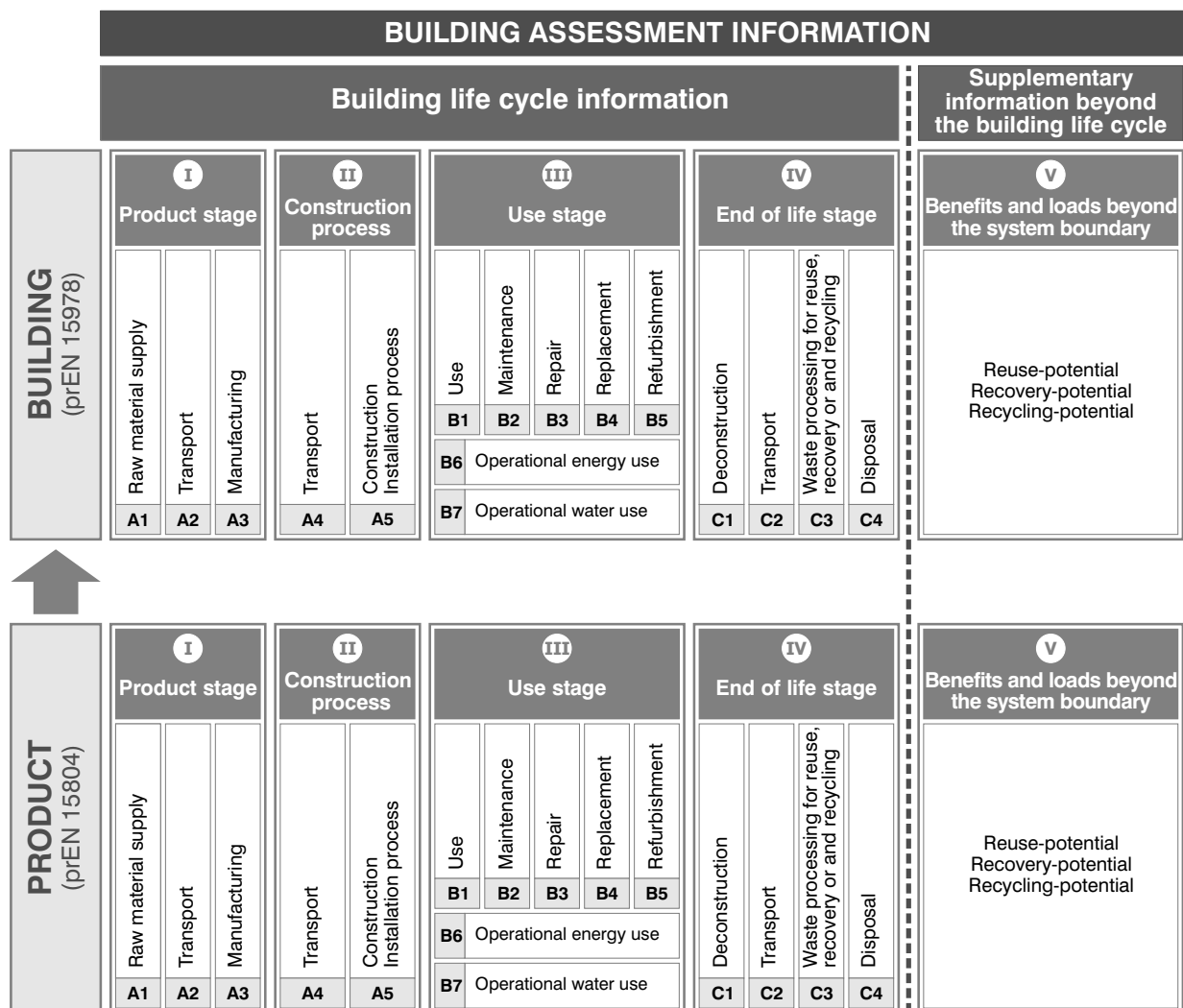
#### 3.3.6.1. Ecobilans et analyse de cycle de vie

Le bilan environnemental, l'éco-bilan ou encore l'analyse de cycle de vie (ACV) est une étude complexe qui permet de quantifier les impacts sur l'environnement d'un produit depuis l'extraction des matières premières qui le composent, jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation.

L'ensemble de ces étapes successives sont définies par un «cycle» c.-à-d. un enchaînement de transformations subies

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



par la/les matière(s) ou le matériau tout au long de la durée de vie de celui-ci.

Cette notion de cycle est variable et dépend du nombre et du type de phases considérées:

- cycle « du berceau à la porte » (« cradle to gate » en anglais): comprend les phases d'extraction, de transport et de fabrication ou production. Le cycle s'arrête au produit « fini » qui sort d'usine;
- cycle du « berceau à la tombe » (« cradle to grave » en anglais): comprend l'ensemble des phases depuis l'extraction jusqu'à la fin de vie en tenant compte des différentes phases de transport;
- cycle du « berceau au berceau » (« cradle to cradle » en anglais): comprend l'ensemble des phases depuis l'extraction jusqu'à la fin de vie, y compris les phases de transport et la phase de recyclage où le matériau « déchet » est considéré comme une matière première pour un autre cycle de production.

L'ACV ne s'attache pas qu'au produit en tant que tel. Elle étudie le produit et sa fonction et permet ainsi la comparaison des produits entre eux pour une fonction donnée

### 3.3.6.2. Outils d'évaluation environnementale

De nombreux outils permettent l'évaluation environnementale d'un matériau de construction, d'une paroi composée de plusieurs matériaux ou d'un bâtiment complet. Les architectes et maîtres d'ouvrages peuvent s'aider de ces outils pour optimiser leur choix de matériaux et de procédés constructifs. De nombreux outils existent sur le marché européen mais la plupart correspond souvent aux priorités d'un secteur plus restreint (région ou pays) en termes de choix constructifs ou production de matériaux.

Pour rappel, il est important, lorsqu'on souhaite utiliser un des outils repris ci-dessous, de connaître :

- les limites de l'analyse;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



- les bases de données qui ont servi à l'analyse;
- les critères environnementaux et sanitaires repris par l'analyse;
- la pondération des critères, s'il y en a une.

### → The product's environmental declarations

Les déclarations environnementales de produit sont des déclarations établies sous la responsabilité des fabricants de produits de construction, suivant la norme ISO 14025.

Ces déclarations sont des fiches d'informations - vérifiées par un tiers indépendant - dans lesquelles le fabricant fournit, sur base d'une analyse de cycle de vie, des données quantitatives relatives à l'impact de son produit sur l'environnement durant tout son cycle de vie (cradle to grave) ou sur les premières étapes du cycle de vie (cradle to gate).

Les fiches d'informations peuvent également comporter d'autres aspects comme une mise en garde contre certaines substances toxiques ou dangereuses ou des renseignements sur certains composants.

Plusieurs pays européens ont légiféré en la matière suivant la norme ISO 14025. C'est notamment le cas de la France mais également de l'Allemagne, de la Suisse, de l'Angleterre, des Pays-Bas...



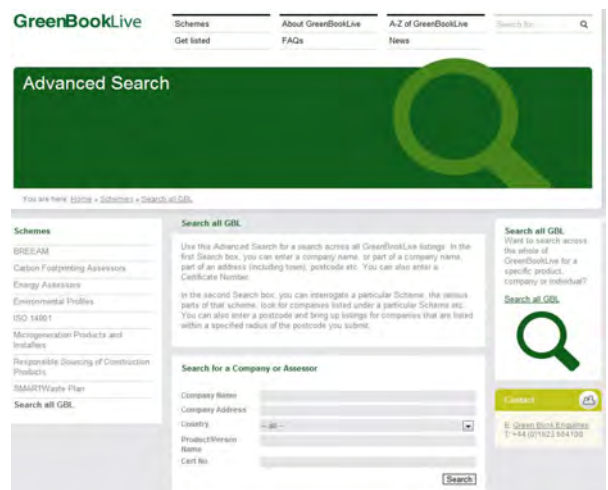
Institut Bauen  
und Umwelt e.V.



Source: [www.sia.ch](http://www.sia.ch)

1	Consommation de ressources énergétiques			
	Energie primaire totale	(MJ)	1,200E+000	1,200E+002
	Energie renouvelable	(MJ)	2,000E-001	2,000E+001
	Energie non renouvelable	(MJ)	1,000E+000	1,000E+002
	Energie primaire procédé	(MJ)	Non renseignée	Non renseignée
2	Epuisement de ressources (ADP)	(kg eq. Antimoine)	3,700E-004	3,700E-002
3	Consommation d'eau totale	(L)	3,230E-001	3,230E+001
4	Déchets solides			
	Déchets valorisés (total)	(kg)	2,710E-002	2,710E+000
	Déchets éliminés			
	Déchets dangereux	(kg)	4,360E-005	4,360E-003
	Déchets non dangereux	(kg)	7,160E-003	7,160E-001
	Déchets inertes	(kg)	4,190E-001	4,190E+001
	Déchets radioactifs	(kg)	5,730E-006	5,730E-004
5	Changement climatique	(kg eq. CO2)	1,050E-001	1,050E+001
6	Acidification atmosphérique	(kg eq. SO2)	3,450E-004	3,450E-002
7	Pollution de l'air	(m³ d'air)	9,190E+000	9,190E+002
8	Pollution de l'eau	(m³ d'eau)	5,960E-002	5,960E+000
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	(kg eq. CFC)	0,000E+000	0,000E+000
10	Formation d'ozone photochimique	(kg eq. éthylène)	3,130E-005	3,130E-003

Source: [www.inies.fr](http://www.inies.fr)



Source: [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)

Ces différents pays ont rassemblé l'ensemble des DEP sur des portails informatiques accessibles au grand public.

- Base INIES pour la France : <http://www.inies.fr>
- Base IBU (Institut Bauen und Umwelt) pour l'Allemagne: <http://www.bau-um-welt.de>
- Base SIA (Société suisse des Ingénieurs et Architectes) pour la Suisse : <http://www.sia.ch>
- Base BRE (Building Research Establishment) pour l'Angleterre : <http://www.bre.co.uk>
- Base MRPI (Milieu Relevant Product Informatie) pour les Pays-Bas : <http://www.mrpi.nl>

Remarque :

Les Environmental product declaration (EPD) des produits de construction sont en cours d'harmonisation au travers des normes ISO 21930 et EN 15804. En effet, selon les méthodes et outils utilisés, le type d'information ainsi que leur niveau

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



de détail peuvent varier de manière importante d'un produit à l'autre.

### → les labels environnementaux

Les labels environnementaux sont considérés comme un « marquage » régi par la norme ISO 14024.

Le label peut être considéré comme un outil de communication envers les architectes, concepteurs ou maîtres d'ouvrage. Le fabricant met en évidence certaines qualités environnementales ou sanitaires de son/ses produit(s). Un label peut être considéré comme fiable sous les conditions suivantes :

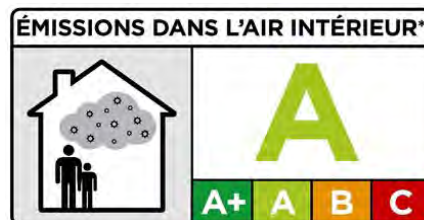
- les critères d'évaluation doivent être repris dans la norme et vérifiables;
- la méthodologie utilisée pour l'évaluation doit être transparente. Toutes les informations, entre autres sur les critères et les cahiers des charges, doivent être accessibles sur simple demande;
- l'ensemble de la procédure (critères et méthodologie) doit être contrôlé par un organisme de contrôle indépendant et agréé.
- l'étiquetage doit être obligatoire.

Il existe différents types de labels:

- les labels officiels qui sont gérés par une administration. Les contrôles sont effectués par des organisations externes, indépendantes et le plus souvent accréditées. Cette accréditation garantit la fiabilité et la qualité du contrôle. Il s'agit de systèmes volontaires: seuls les producteurs qui le désirent apposent ce label sur leurs produits.
- les labels privés collectifs qui sont gérés par un secteur industriel, une association professionnelle ou une association qui est considérée comme indépendante du fabricant ou du secteur. Les contrôles sont exécutés par des organisations externes, indépendantes et le plus souvent accréditées. Ce sont également des systèmes volontaires.
- les labels privés, individuels et contrôlés qui sont créés par un fabricant ou un distributeur, mais sont contrôlés par une organisation externe et indépendante qui, en général, est accréditée.



Illustration : Écolabel européen, label Natureplus, label Blauer Engel, label Nordic Swan, label NF Environnement, label Milieukeur



Les labels environnementaux européens les plus connus sont :

- l'Écolabel européen - <http://www.eco-label.com>
- le label Natureplus - <http://www.natureplus.org>
- le label Ange Bleu (Blauer Engel) - <http://www.blauer-engel.de>
- le label NF Environnement – <http://www.marque-nf.com>
- le label NordicSwan – <http://www.svanen.nu/eng>
- le label Milieukeur - <http://www.milieukeur.nl>

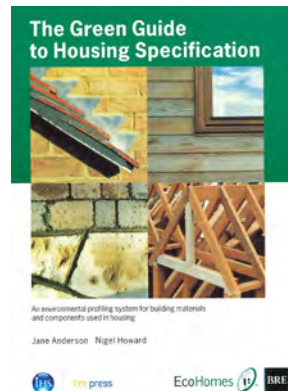
Par ailleurs, depuis les années 1990, des systèmes de labellisation pour les matériaux de construction, intégrant des exigences en termes de qualité de l'air intérieur, ont été développés dans certains pays européens:

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



- Classification M1 (Finlande - <http://www.rakennustieto.fi/index/english/emissionclassificationofbuildingmaterials.html>);
- Indoor Air Climate Label ICL (Danemark - <http://www.teknologisk.dk/ydel-ser/253>);
- Label GUT/EMICODE/Blauer Engel/AgBB (Allemagne);
- Protocole AFSSET (France).



### → les outils de type «checklist»

Les méthodes d'évaluation de type checklist sont les outils d'évaluation les plus répandus et se révèlent relativement simples à utiliser. Elles sont conçues pour être utilisées par les maîtres d'ouvrage, les promoteurs, les architectes et certains services techniques du bâtiment.

Elles se présentent sous forme de listes de critères (avec des cases à cocher). Chaque critère a un système de cotation gradué associé à un facteur de pondération; le résultat final est calculé en additionnant les cotations pondérées de chaque critère. La checklist implique donc que l'utilisateur ait une connaissance approfondie du bâtiment et de ses composants. La checklist ne donne pas de résultat chiffré, mais une appréciation sous forme de pourcentage, lettrage (A, B, C, D) ou chiffre (1,2,3,4...). Les différentes «checklist» sont:

- NIBE Standard (Pays-Bas)
- Green Guide to Housing Specifications (BRE, Angleterre)
- ECOBAU, ECO-DEVIS sheets ([www.ecobau.ch](http://www.ecobau.ch), Suisse)
- La publication «Leitfaden für nachhaltiges - bauen und renovieren» ([www.crte.lu](http://www.crte.lu), Luxembourg)
- Baubook - PassivHaus Bauteilkatalog – Ökologisch bewertete konstruktionen' ([www.baubook.info](http://www.baubook.info), Autriche)

### → les logiciels «ACV»

Les logiciels d'évaluation environnementale basés sur une analyse de cycle de vie sont généralement plus complexes au niveau de leurs méthodes de calcul que les checklists.

Ces méthodes visent à fournir une évaluation globale des impacts environnementaux et sanitaires au travers de critères tels que le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources... Cette évaluation se fait généralement sur un cycle de vie complet – cradle to grave.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Les logiciels «ACV» sont les suivants:

- Ecobilans KBOB ([www.bbl.admin.ch/kbob](http://www.bbl.admin.ch/kbob) , Suisse)
- Catalogue construction ([www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch) , Suisse)
- ECO-BAT ([www.ecobat.ch](http://www.ecobat.ch), Suisse)
- Ecosoft ([www.ibo.at](http://www.ibo.at), Autriche)
- ENVEST2 (BRE - [www.envest2.bre.co.uk](http://www.envest2.bre.co.uk) )
- EQUER (<http://www.izuba.fr/logiciel/euer> )
- ECOQUANTUM (MRPI – Pays-Bas)
- LEGEP
- ELODIE (<http://www.elodie-cstb.fr> - France)

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.4. Réduire la consommation de ressources - Méthode BREEAM

Pour évaluer la question «Réduire la consommation des ressources non énergétiques», la méthode d'évaluation BREEAM propose différents critères repris essentiellement sous trois sections environnementales

- Section « **EAU** » avec une pondération de 6% dans l'évaluation
  - WAT 01: Consommation d'eau
  - WAT 02: Suivi des consommations d'eau
  - WAT 03: Détection des fuites d'eau et prévention
- Section « **MATERIAUX** » avec une pondération de 12.5% dans l'évaluation
  - MAT 01: Impacts environnementaux sur le cycle de vie
  - MAT 02: Matériaux de revêtement extérieurs
  - MAT 03: Approvisionnement responsable des matières
  - MAT 04: Isolation
  - MAT 05: Conception visant la solidité et durabilité
- Section « **POLLUTION** » avec une pondération de 10% dans l'évaluation
  - POL 03: Ruisellement des eaux de surface

C'est pourquoi, un aperçu de ces critères est présenté ci-après.

**Pour plus d'information :** <http://www.breeam.org/page.jsp?id=381>

#### 3.4.1. WAT 01 - Consommation d'eau

Cette question vise à réduire la consommation d'eau potable à usage sanitaire dans les bâtiments grâce à l'utilisation d'équipements économes en eau et de systèmes de recyclage d'eau. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un seuil minimal mais fournit un maximum de 5 crédits.

Critères	Nombre de crédits	Explication
Consommation d'eau	1 à 5 crédits	<p>An assessment of the efficiency of the building's domestic water consuming components is undertaken using the BREEAM Wat 01 calculator.</p> <p>The water consumption (litres/person/day) for the assessed building is compared against a baseline performance and BREEAM credits awarded as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>1 credit: 12.5% of improvement</b></li><li>- <b>2 credits: 25% of improvement</b></li><li>- <b>3 credits: 40% of improvement</b></li><li>- <b>4 credits: 50% of improvement</b></li><li>- <b>5 credits : 55% of improvement</b></li><li>- <b>exemplary performance : up to 65% of improvement</b></li></ul> <p>The efficiency of the following 'domestic scale' water consuming components must be included in the calculation (where specified): WCs, Urinals, Taps (wash hand basins and where specified kitchen taps and waste disposal unit), Showers, Dishwashers (domestic and commercial sized)</p> <p><i>Comment:</i></p> <p><i>Where a greywater and/or rainwater system is specified, its yield (l/person/day) can be used to off-set non potable water demand from components that would otherwise be supplied using potable water.</i></p>

#### 3.4.2. WAT 02 - Suivi de la consommation d'eau

Cette question vise à assurer un suivi et une gestion de la consommation d'eau et ainsi encourager une réduction de la consommation d'eau. Cette question est obligatoire pour atteindre un seuil minimal.



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Critères	Nombre de crédits	Explication
Suivi de la consommation d'eau	1 crédit	<p>The specification of a water meter on the mains water supply to each building; this includes instances where water is supplied via a borehole or other private source.</p> <p>Water-consuming plant or building areas, consuming 10% or more of the building's total water demand, are either fitted with sub meters or have water monitoring equipment integral to the plant or area</p> <p>Each meter (main and sub) has a pulsed output to enable connection to a Building Management System (BMS) for the monitoring of water consumption.</p> <p>If the site on which the building is located has an existing BMS, managed by the same occupier/owner (as the new building), the pulsed water meter(s) for the new building must be connected to the existing BMS</p>

### 3.4.3. WAT 03 - Détection des fuites d'eau et prévention

Cette question vise à réduire l'impact de fuites d'eau qui, sans un système de détection, pourraient passer inaperçues. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un seuil minimal mais fournit deux crédits.

Critères	Nombre de crédits	Explication
Détection des fuites et prévention	1 à 2 crédits	<p><b>For one credit:</b></p> <p>A leak detection system which is capable of detecting a major water leak on the mains water supply within the building and between the building and the utilities water meter.</p> <p>The leak detection system is:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Audible when activated</li> <li>- Activated when the flow of water passing through the water meter/data logger is at a flow rate above a pre-set maximum for a pre-set period of time</li> <li>- Able to identify different flow and therefore leakage rates, e.g. continuous, high and/or low level, over set time periods</li> <li>- Programmable to suit the owner/occupiers' water consumption criteria</li> <li>- Where applicable, designed to avoid false alarms caused by normal operation of large water-consuming plant such as chillers.</li> </ul> <p><b>For one more credit:</b></p> <p>One of the following types of flow control device is fitted to each WC area/facility to ensure water is supplied only when needed (and therefore prevent minor water leaks):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A time controller i.e. an automatic time switch device to switch off the water supply after a predetermined interval</li> <li>- A programmed time controller i.e. an automatic time switch device to switch water on and/or off at predetermined times.</li> <li>- A volume controller i.e. an automatic control device to turn off the water supply once the maximum preset volume is reached.</li> <li>- A presence detector and controller i.e. an automatic device detecting occupancy or movement in an area to switch water on and turn it off when the presence is removed.</li> <li>- A central control unit i.e. a dedicated computer-based control unit for an overall man-aged water control system, utilising some or all of the types of control elements listed above.</li> </ul>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.4.4. MAT 01 - Impacts environnementaux sur le cycle de vie

Cette question vise à reconnaître et à encourager l'utilisation de matériaux de construction ayant un faible impact environnemental (y compris en termes de carbone «incorporé») au cours du cycle de vie complet de l'immeuble. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un score minimal

Critères	Nombre de crédits	Explication
Impacts environnementaux sur cycle de vie	1 à 6 crédits	<p>BREEAM credits on the basis of the building's quantified environmental life cycle impact through assessment of the main building elements.</p> <p>For school buildings, main building elements are: external walls, windows, roofs, upper floor slab, internal walls, floor coverings.</p> <p>Credits are awarded on the basis of the total number of points achieved. This point's score is based on the Green Guide rating(s) achieved for the specifications that make-up the main building elements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 credit : total points achieved <math>\geq</math> 4</li> <li>- 2 credits: total points achieved <math>\geq</math> 5</li> <li>- 3 credits: total points achieved <math>\geq</math> 8</li> <li>- 4 credits: total points achieved <math>\geq</math> 10</li> <li>- 5 credits: total points achieved <math>\geq</math> 12</li> <li>- 6 credits: total points achieved <math>\geq</math> 14</li> </ul> <p>Lifecycle Green House Gas emissions (kgCO<sub>2</sub>eq.) for each element are also required to be reported based on a 60-year building life. Where specific data is not available for a product or element, generic data should be used. Generic data can be obtained from the online Green Guide for each element.</p>

### 3.4.5. MAT 02 - Matériaux de revêtement extérieurs (délimitation et pavements)

Cette question vise à reconnaître et à encourager la prescription de matériaux pour la délimitation des parcelles, espaces et les surfaces de pavement extérieurs qui ont un faible impact environnemental, en tenant compte du cycle de vie des matériaux utilisés. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un score minimal

Critères	Nombre de crédits	Explication
Hard landscaping and boundary protection	1 credit	Where at least 80% of all external hard landscaping and boundary protection (by area) achieves an A or A+ rating, as defined in the Green Guide to Specification. Green Guide ratings for the specification(s) of each element can be found at: <a href="http://www.thegreenguide.org.uk">www.thegreenguide.org.uk</a>

### 3.4.6. MAT 03 - Approvisionnement responsable de matériaux

Cette question vise à reconnaître et à encourager la prescription des matériaux provenant de sources responsables pour les éléments importants de construction. Cette question est obligatoire pour atteindre un score minimal (de 1 à 3 crédits).

Critères	Nombre de crédits	Explication
Approvisionnement responsable de matériaux	1 to 3 credits	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Each of the applicable specified materials comprising the main building elements are assigned a responsible sourcing tier level and points awarded. The tier rank is determined based on the rigour of responsible sourcing demonstrated by the supplier(s)/ manufacturer(s) of that material/element (through responsible sourcing certification schemes).</li> <li>2. The number of BREEAM credits achieved is determined as follows: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 credits : <math>\geq</math> 54 % of available points achieved</li> <li>- 2 credits : <math>\geq</math> 36 % of available points achieved</li> <li>- 1 credit : <math>\geq</math> 18 % of available points achieved</li> </ul> </li> <li>3. Confirmation that all timber used on the project is sourced in accordance with the UK Government's Timber Procurement Policy</li> </ol>

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



### 3.4.7. MAT 04 - Matériaux d'isolation

Cette question vise à reconnaître et à encourager l'utilisation de matériaux isolants ayant une faible impact sur l'environnement par rapport à ses propriétés thermiques et dont l'approvisionnement est géré de manière responsable. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un score minimal et est divisé en trois parties:

Critères	Nombre de crédits	Explication
Pré-requis		Any new insulation specified for use within the following building elements must be assessed: External walls, Ground floor, Roof and Building services
Impact environnementaux «incorporés»	1 crédit	<p>The Green Guide rating for the thermal insulation materials must be determined. Green Guide ratings for thermal insulation can be found at: <a href="http://www.thegreenguide.org.uk">www.thegreenguide.org.uk</a></p> <p>The Insulation Index for the building insulation is the same as or greater than 2. 4.</p> <p>The Insulation Index is calculated using the BREEAM Mat 04 calculator which uses the following calculation methodology:</p> <p>For each type of thermal insulation used in the relevant building elements, the volume weighted thermal resistance provided by each type of insulation is calculated as follows:</p> <p>a. <math>(\text{Area of insulation (m}^2) \times \text{thickness(m)}) / \text{Thermal Conductivity (W/ m.K)}</math></p> <p>OR</p> <p>b. <math>\text{Total volume of insulation used (m}^3) / \text{Thermal conductivity (W/m.K)}</math></p> <p>The volume weighted thermal resistance for each insulation material is then multiplied by the relevant Green Guide point(s) from the following table to give the Green Guide Rating corrected value.</p>
Approvisionnement responsable	1 crédit	At least 80% by volume of the thermal insulation used in the building elements identified in Item 1 must be responsibly sourced i.e. each insulation product must be certified in accordance with either tier levels 1, 2, 3, 4, 5 or 6 as described in BREEAM issue Mat 03.

### 3.4.8. MAT 05 - Conception favorisant la solidité et durabilité

Cette question vise à reconnaître et à encourager une protection adéquate des éléments exposés du bâtiment et des espaces extérieurs, minimisant ainsi la fréquence des remplacements et maximisant l'optimisation des matières. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un score minimal.

Critères	Nombre de crédits	Explication
Conception favorisant la durabilité	1 crédit	<p>Areas of the building have been identified (both internal and external) where vehicular, trolley and pedestrian movement occur.</p> <p>The design incorporates suitable durability and protection measures or design features/solutions to prevent damage to the vulnerable parts of the building.</p> <p>This must include, but is not necessarily limited to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection from the effects of high pedestrian traffic in main entrances, public areas and thoroughfares (corridors, lifts, stairs, doors etc).</li> <li>- Protection against any internal vehicular/trolley movement within 1m of the internal building fabric in storage, delivery, corridor and kitchen areas.</li> <li>- Protection against, or prevention from, any potential vehicular collision where vehicular parking and manoeuvring occurs within 1m of the external building façade for all car parking areas and within 2m for all delivery areas.</li> </ul>

### 3.4.9. POL 03 - Ruissellement des eaux de surface

Cette question vise à éviter, réduire et retarder le ruissellement des eaux pluviales vers les égouts publics et les cours d'eau, minimisant ainsi le risque d'inondations localisées (sur site et hors site), la pollution des cours d'eau et autres dommages à l'environnement. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un niveau minimum, mais fournit un maximum de 5 crédits. Cette question est divisé en trois parties:

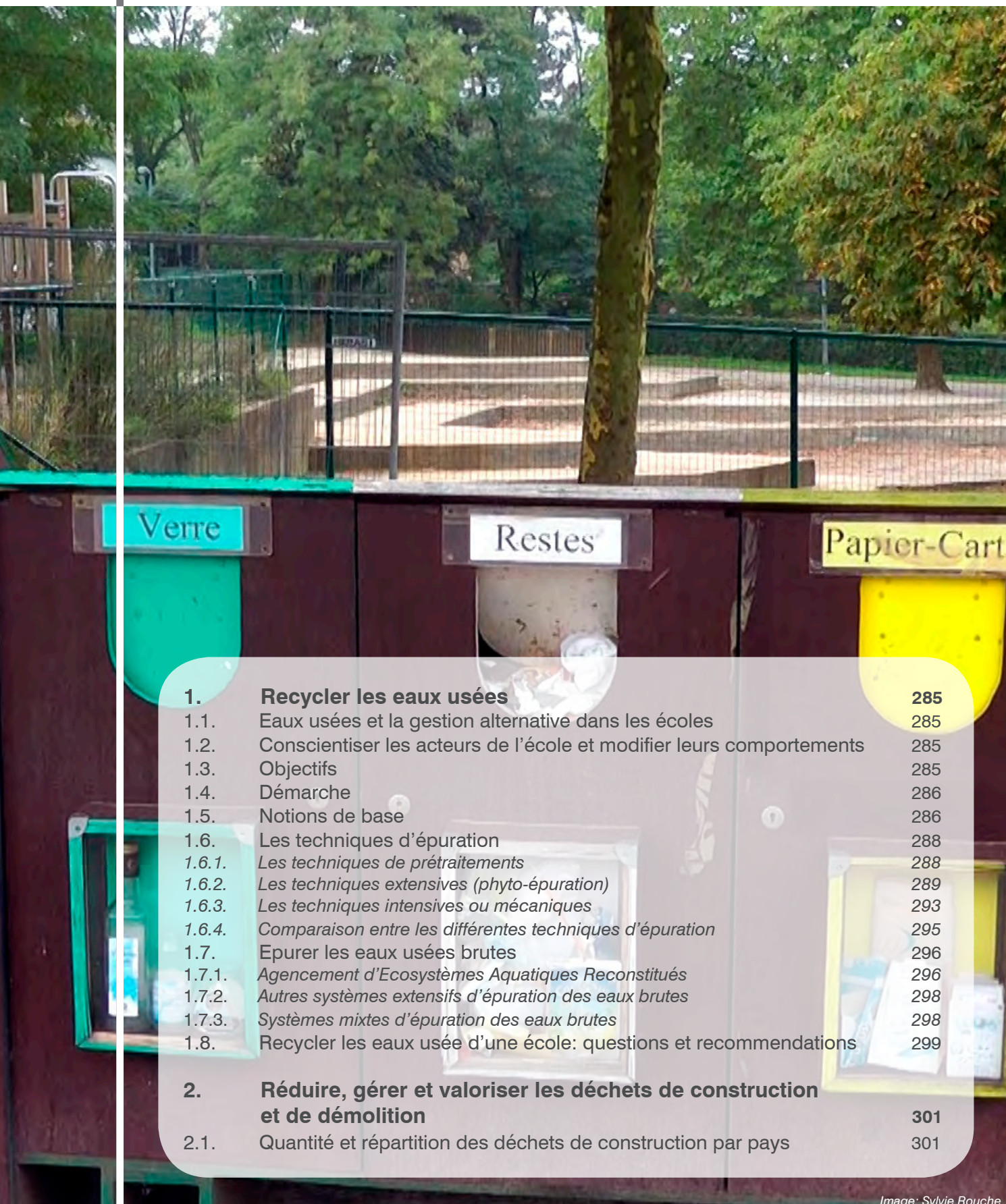
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 3. REDUIRE LA CONSOMMATION DE RESSOURCES



Critères	Nombre de crédits	Explication
Risque d'inondations	1 à 2 crédits	<p><b>For 2 credits:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Where the assessed development is situated in a flood zone that is defined by the relevant planning, policy and technical guidance documents, as having a low annual probability of flooding.</li> <li>A site specific Flood Risk Assessment (FRA) confirms that there is a low risk of flooding from all sources.</li> </ol> <p><b>For 1 credit:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Where the assessed development is situated in a flood zone that is defined by the relevant planning, policy and technical guidance documents, as having a medium or high annual probability of flooding and is not within the Functional Floodplain AND</li> <li>A site specific Flood Risk Assessment (FRA) confirms to the satisfaction of the local authority and statutory body that the development is appropriately flood resilient and resistant from all sources of flooding AND</li> <li>The ground level of the building and access to both the building and the site, are designed (or zoned) so they are at least 600mm above the design flood level of the flood zone in which the assessed development is located.</li> </ol>
Ruissellement des eaux de surface		<p><b>Pre-requisite</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>An appropriate consultant is appointed to carry out, demonstrate and/or confirm the following criteria:</li> </ol> <p><b>For 1 credit:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Where drainage measures are specified to ensure that the peak rate of run-off from the site to the watercourses (natural or municipal) is no greater for the developed site than it was for the pre-development site. This should comply at the 1 year and 100 year return period events.</li> <li>Calculations include an allowance for climate change; this should be made in accordance with current best practice planning guidance.</li> </ol> <p><b>For 1 more credit</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Where flooding of property will not occur in the event of local drainage system failure (caused either by extreme rainfall or a lack of maintenance)</li> </ol> <p>AND EITHER</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>The post development run-off volume, over the development lifetime, is no greater than it would have been prior to the assessed site's development.</li> <li>Any additional predicted volume of run-off for the 100 year 6 hour event must be prevented from leaving the site by using infiltration or other techniques</li> </ol>
Minimiser la pollution des cours d'eau		<p><b>For 1 credit:</b></p> <p>The Appropriate Consultant confirms that there is no discharge from the developed site for rain-fall up to 5mm.</p> <p>Specification of Sustainable Drainage Systems (SUDs) or source control systems such as permeable surfaces or infiltration trenches where run-off drains are in areas with a relatively low risk source of watercourse pollution.</p> <p>Specification of oil/petrol separators (or equivalent system) in surface water drainage systems, where there is a high risk of contamination or spillage of substances such as petrol and oil.</p> <p>All water pollution prevention systems have been designed and detailed in accordance with the recommendations of Pollution Prevention Guideline 31.</p>

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



<b>1.</b>	<b>Recycler les eaux usées</b>	<b>285</b>
1.1.	Eaux usées et la gestion alternative dans les écoles	285
1.2.	Conscientiser les acteurs de l'école et modifier leurs comportements	285
1.3.	Objectifs	285
1.4.	Démarche	286
1.5.	Notions de base	286
1.6.	Les techniques d'épuration	288
1.6.1.	<i>Les techniques de prétraitements</i>	288
1.6.2.	<i>Les techniques extensives (phyto-épuration)</i>	289
1.6.3.	<i>Les techniques intensives ou mécaniques</i>	293
1.6.4.	<i>Comparaison entre les différentes techniques d'épuration</i>	295
1.7.	Epurer les eaux usées brutes	296
1.7.1.	<i>Agencement d'Ecosystèmes Aquatiques Reconstitués</i>	296
1.7.2.	<i>Autres systèmes extensifs d'épuration des eaux brutes</i>	298
1.7.3.	<i>Systèmes mixtes d'épuration des eaux brutes</i>	298
1.8.	Recycler les eaux usées d'une école: questions et recommandations	299
<b>2.</b>	<b>Réduire, gérer et valoriser les déchets de construction et de démolition</b>	<b>301</b>
2.1.	Quantité et répartition des déchets de construction par pays	301

Image: Sylvie Rouche

2.2.	Mesures préventives: réduire à la source	302
2.2.1	<i>Mesures préventives en phase de conception – adaptabilité du bâtiment</i>	302
2.2.2.	<i>Mesures préventives sur la technique de construction (projet d'extension)</i>	302
2.2.3.	<i>Mesures préventives lors du choix des matériaux de construction</i>	303
2.2.4.	<i>Mesures préventives lors de la mise en oeuvre de matériaux ou éléments de construction</i>	303
2.3.	Gérer et valoriser les déchets de construction sur le chantier de rénovation	304
2.3.1.	<i>Les filières de valorisation des déchets</i>	304
2.3.2.	<i>Décyclage et recyclage, une nuance importante</i>	305
2.3.3.	<i>Objectifs d'une gestion des déchets sur chantier</i>	306
2.3.4.	<i>Pré-étude pour la gestion des déchets</i>	306
2.3.5.	<i>Gestion des déchets sur chantier</i>	308
2.3.6.	<i>Quelques destinations possibles pour les déchets de construction et de démolition</i>	310
2.3.7	<i>Rénovation de l'école Riva-Bella - le concept de réutilisation</i>	312
<b>3.</b>	<b>Réduire, gérer et valoriser les déchets de fonctionnement</b>	<b>313</b>
3.1.	La production de déchets à l'école	313
3.2.	Reduire les déchets à la source – comportements à adopter	313
3.2.1.	<i>Une politique de réduction de déchets, choix pédagogique</i>	313
3.2.2.	<i>Un inventaire «déchets» dans chaque école</i>	313
3.3.	Gérer et valoriser les déchets de fonctionnement	314
3.3.1.	<i>Principes d'egestion des déchets domestiques ou assimilés</i>	314
3.3.2.	<i>Conteneurs, poubelles et bennes</i>	314
<b>4.</b>	<b>Réduire la production de déchets - la méthode BREEAM</b>	<b>316</b>
4.1.	WST 01 - Gestion des déchets de construction	
4.2.	WST 02 - Granulats recyclés	
4.3.	WST 03 - Déchets de fonctionnement	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.1. Recycler les eaux usées



#### 4.1.1. Eaux usées et gestion alternative dans les écoles

*Cantines, sanitaires, climatisation... Les consommations, directes ou indirectes, dans le cadre scolaire ou professionnel sont loin d'être négligeables. Un élève, à l'école, peut utiliser entre 10 et 100 litres d'eau par jour, selon ses activités. Au bureau, la consommation varie sensiblement, selon les équipements. Estimée entre 10 et 30 litres par jour dans les structures les moins équipées, la consommation moyenne d'un employé peut atteindre jusqu'à 225 litres, s'il travaille dans un bureau climatisé et s'il dispose d'une cantine. Source: <http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/particuliers/votre-quotidien/chiffres-consommation-collective-deau>*

La gestion des eaux usées est un des enjeux majeurs de la gestion de l'eau à l'échelle d'une école, vu les quantités non négligeables d'eaux rejetées. Elle est l'occasion de mettre en place un traitement alternatif et appropriée des eaux usées « domestiques » en s'inspirant principalement du fonctionnement des écosystèmes aquatiques naturels.

Cette démarche doit être encouragée par le constat de faible performance (ou absence de performance) de l'épuration des eaux usées dans les stations d'épuration collective : traitement incomplet des différents types de pollution.

Ces traitements alternatifs au « tout à l'égout » ont également l'avantage de ramener la nature dans les aires de jeux et les espaces collectifs des écoles et d'ainsi en améliorer leur qualité sans engendrer de risques tant au niveau de l'hygiène que de la sécurité des enfants puisque selon le type de système, l'eau n'est pas ou peu présente en surface.

Ces traitements permettent également de conscientiser les enfants et les enseignants sur le cycle naturel de l'eau et les enjeux liés à celui-ci : consommation, pollution...

#### 4.1.2. Conscientiser les acteurs et modifier les comportements

Dans le cadre d'une rénovation d'école, les stratégies développées en matière de gestion et recyclage des eaux doivent apporter une dimension pédagogique : développer une autre culture de l'eau en intégrant le projet dans le cycle de l'eau et en offrant un support paysager au développement de la biodiversité.

#### 4.1.3. Objectifs

Recycler les eaux usées ou utilisées dans le bâtiment a pour objectif d'intégrer le projet de rénovation dans le cycle naturel de l'eau en ne rejetant dans l'environnement que des eaux qui respectent le milieu récepteur :

- **en qualité - OBJECTIF: tendre vers « zéro rejet de polluants hors de la parcelle »**
  - éviter de polluer les eaux claires ;
  - séparer les polluants le plus en amont possible (séparation des différents types d'eau : eau de pluie, eau grise, eau noire,...) ;
  - garantir la qualité des eaux rejetées après épuration
  - éviter le rejet d'eaux usées diluées vers le réseau d'assainissement collectif
- **en quantité - OBJECTIF: tendre vers « zéro rejet d'eau de pluie hors de la parcelle »**
  - restituer l'eau au milieu naturel le plus en amont possible ;
  - boucler les cycles de l'eau au sein des projets de rénovation pour prolonger son parcours et n'en rejeter qu'une infime partie

Différentes techniques existent pour épurer les eaux usées. On privilégiera davantage les techniques dites « paysagères » (extensives) qui favorisent la biodiversité par un choix de plantes indigènes mais qui permettent également des valorisations et des applications diverses à toutes les échelles de projet (habitat individuel, habitat collectif, école, bureau,

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



quartier,...) ainsi qu'une sensibilisation et implications des occupants ou habitants.

### 4.1.4. Démarche

La démarche proposée au travers de ce chapitre consiste à développer une gestion alternative des eaux usées en respectant les principes suivants :

- **Rejeter le moins d'eau possible en dehors de la parcelle de terrain dédié au projet de rénovation.**

Réduire au maximum les consommations d'eau dans le(s) bâtiment(s) à rénover, notamment dans les sanitaires et les cuisines par un choix adapté des équipements.

- **Choisir une qualité d'eau appropriée à l'usage**

Utiliser l'eau potable uniquement pour des usages où elle est indispensable (alimentation et hygiène) et envisager le recours à des sources d'eau alternatives pour tous les autres usages : chasses WC, urinoirs, arrosage des espaces verts, entretien des abords, entretien et nettoyage des bâtiments.

- **Prévoir si possible des réseaux d'évacuation séparatifs si les réseaux d'eau sont à rénover.**

La séparation des réseaux d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées permet d'éviter la dilution de la pollution des eaux usées qui sont dirigées vers une station d'épuration collective ou vers une station d'épuration « in situ ». Cette séparation des flux d'eau permet un traitement différencié et approprié selon le type de pollution. Elle facilite également l'épuration et/ou la réutilisation en fonction des usages.

- **Envisager une gestion alternative des eaux usées sur la parcelle.**

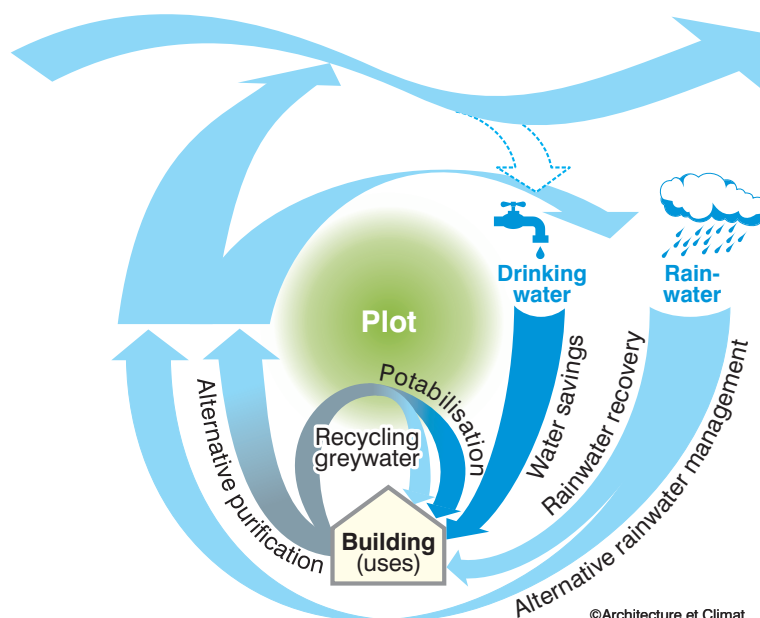
Cette gestion alternative peut être encore hiérarchisée, selon les volontés :

- Épuration « in situ » des eaux usées (noires et grises), de préférence par voie extensive, avec récupération dans le cycle de consommation du bâtiment.
- Épuration « in situ » des eaux usées (noires et grises), de préférence par voie extensive (filtres plantés) avec évacuation dans un réseau d'eau de surface ;
- Épuration « in situ » des eaux grises, de préférence par voie extensive avec évacuation dans un réseau d'eau de surface ou récupération dans le cycle de consommation du bâtiment

### 4.1.5. Notions de base

#### → Types d'eau usées

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales et





# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



de ruissellement. Les eaux usées issues des écoles peuvent être assimilées aux eaux usées domestiques même si elles peuvent encore parfois être chargées de peintures, détergents et autres solvants. Ces eaux usées sont constituées de :

- **Les eaux noires ou les eaux vannes**

Les eaux noires ou eaux vannes sont constituées par les eaux s'évacuant des sanitaires et urinoirs. Elles sont fortement chargées et combinent des pollutions physiques, organiques, tertiaires et bactériologiques importantes. Les eaux noires peuvent encore être dissociées en urines et en fèces qui peuvent présenter des pollutions très spécifiques.

- **Les eaux grises (cuisine, sanitaires)**

Les eaux grises sont constituées des eaux de lavage (douches, lavabos, évier, lave-vaisselle, cuisine,...) et représentent environ 70% du volume d'eau consommé. Elles combinent une pollution physique et organiques légères, une pollution tertiaire plus marquée (savons et détergents) et une pollution bactériologique.

- **Les eaux dites claires**

Les eaux dites claires sont constituées des eaux pluviales et de de ruissellement, faiblement polluées. Ces eaux ne doivent en aucun cas, être mélangées aux eaux noires et grises.

### → Types de pollution

Les différents types de pollution que l'on peut rencontrer dans les eaux usées sont les suivants :

- **Pollution PRIMAIRE (ou physique)**

Pollution par matière en suspension et sédimentable dans les cours d'eau ou les écosystèmes aquatiques. Ce type de pollution est une barrière à la photosynthèse, rend la vie végétale impossible en profondeur, diminue la quantité d'oxygène dissout dans l'eau, entraînant une perturbation de l'activité biologique de l'écosystème aquatique par manque d'oxygène et de lumière.

- MES : matière en suspension (mg/l)

- MS : matière sédimentable (mg/l)

- **Pollution SECONDAIRE (ou organique)**

Pollution par matières organiques dissoutes. Ces matières dissoutes doivent être considérées comme de la « nourriture » favorisant le développement bactérien en aérobie (consomme de l'oxygène O<sub>2</sub>) et en anaérobie (production de méthane).

Cette pollution entraîne une diminution de la quantité d'oxygène dissout et provoque une perturbation de l'écosystème aquatique par manque d'oxygène (asphyxie du milieu)

- DBO<sub>5</sub> : demande biologique en O<sub>2</sub> (mg/l en 5 jours)

- DCO : demande chimique en oxygène (mg/l)

- **Pollution TERTIAIRE (ou minérale)**

Pollution par nitrates et phosphates contenus dans les matières fécales, les déchets de cuisine, les détergents, les engrais... Les matières polluantes sont l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, les nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, les phosphates PO<sub>4</sub><sup>-</sup>...

Ces matières créent un déséquilibre dans les cycles naturels du carbone, de l'azote et du phosphore et provoque le phénomène d'eutrophisation des eaux de surface par une prolifération d'algues.

- N : Azote (mg/l)

- P : Phosphore (mg/l)

- **Pollution QUATERNAIRE (ou microbienne)**

Pollution par germes pathogènes, bactéries ou virus, principalement d'origine fécale tels que :

- Salmonella: fièvres typhoïdes

- Shigella : dysenterie

- Entérovirus : poliomyélite, hépatites A

- **Pollution CHIMIQUE**

Pollution – principalement des eaux de ruissellement - par métaux lourds, hydrocarbures, solvants, adoucissants ou autres composés complexes. Ce type de pollution se retrouve plutôt dans les eaux usées industrielles et non dans les eaux usées de type domestique mais peut provenir des parkings, des voiries ou encore de certains revêtements de toiture (zinc, cuivre...).

La pollution journalière produite par une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau est évaluée à<sup>1</sup> :

- 90 grammes de matières organiques ou minérales

- 57 grammes de matières oxydables

- 15 grammes de matières azotées

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



- 4 grammes de phosphore total
- 0,23 gramme de résidus de métaux lourds (plomb, cadmium, arsenic, mercure...)
- 0,05 gramme de composés (fluor, chlore, brome, iode...)
- 1 à 10 milliards de germes par 100 ml.
- **L'unité de mesure**

En termes d'épuration des eaux usées, on tient compte d'une unité de mesure synthétique commune (par rapport aux différentes pollutions) qui est l'EQUIVALENT-HABITANT (E.H.) et qui correspond à 60g DBO<sub>5</sub>/jour

### 4.1.6. Les techniques d'épuration

#### 4.1.6.1. Les techniques de prétraitements

Ce texte est issu de deux sources principales : «Guide pratique pour la construction et rénovation durable de petits bâtiments», IBGE, Bruxelles, 2006 et « Waterwegwijzer voor architecten» Vlaams Milieu Maatschappij, 2002/2010.

##### → Dégrillage

Chambre de réception pourvue d'une ou plusieurs grilles à mailles serrées pour retenir les objets de plus ou moins grosse taille. Le dégrillage a pour but d'empêcher le passage dans les canalisations et tuyaux de connexion des corps « grossiers » qui risqueraient d'obturer ou de déranger les traitements en aval du réseau.

##### → Citerne de décantation ou décanteur

Cette citerne fonctionne selon le principe de la décantation : les particules en suspension plus lourdes que l'eau sont entraînées, par leur poids, vers le fond de la citerne. Pour un bon fonctionnement, l'eau doit être aussi immobile que possible. L'eau décantée en surface poursuit son traitement dans une seconde citerne. Les boues dans le fond de la cuve sont régulièrement évacuées : un curage est réalisé et les boues enlevées par un camion-citerne. Cette opération est nécessaire afin d'éviter tous risques de colmatage des canalisations.

##### → Séparateur de graisses

Ce système s'installe sur le réseau d'évacuation des eaux usées de la cuisine, le plus près possible de la source. Les particules de graisses et d'huiles, plus légères que l'eau, sont séparées de celle-ci en remontant à la surface. Ce système nécessite un entretien régulier.

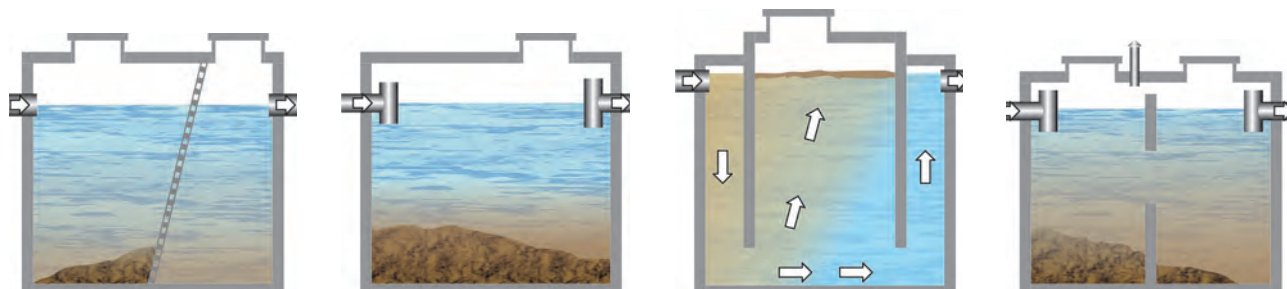
##### → Fosse septique

Ce prétraitement a pour but d'initier les processus épuratoires ainsi que de réduire les charges organiques et les matières en suspension: une action physique de décantation et flottaison des matières en suspension et une action biologique qui consiste en la digestion par les micro-organismes de la charge polluante

La fosse septique doit être vidangée régulièrement, environ tous les 2 ans. La vidange ne doit, en aucun cas, être complète : un volume d'ensemencement d'environ 20% des boues doit être conservé. La fosse septique ne peut recevoir les eaux pluviales ou de ruissellement en provenance des toitures ou autres surfaces de récoltes. La fosse septique traditionnelle ne se charge que des eaux fécales mais elle peut également prétraiter les eaux grises en provenance de la cuisine (dans un premier temps traitées dans un dégraisseur) et des sanitaires:

- Rendement fosse septique (eaux noires et eaux grises) : 30% de la charge organique
- Rendement fosse septique (eaux grises pré-traitées) : 60 à 80% de la charge organique

Les cuves peuvent être en béton ou en matière synthétique.



Dégrillage

Citerne de décantation

Séparateur de graisses

Fosse septique

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Une attention particulière doit être apportée à la résistance des parois qui pourraient se dégrader sous l'action corrosive des gaz de fermentation.

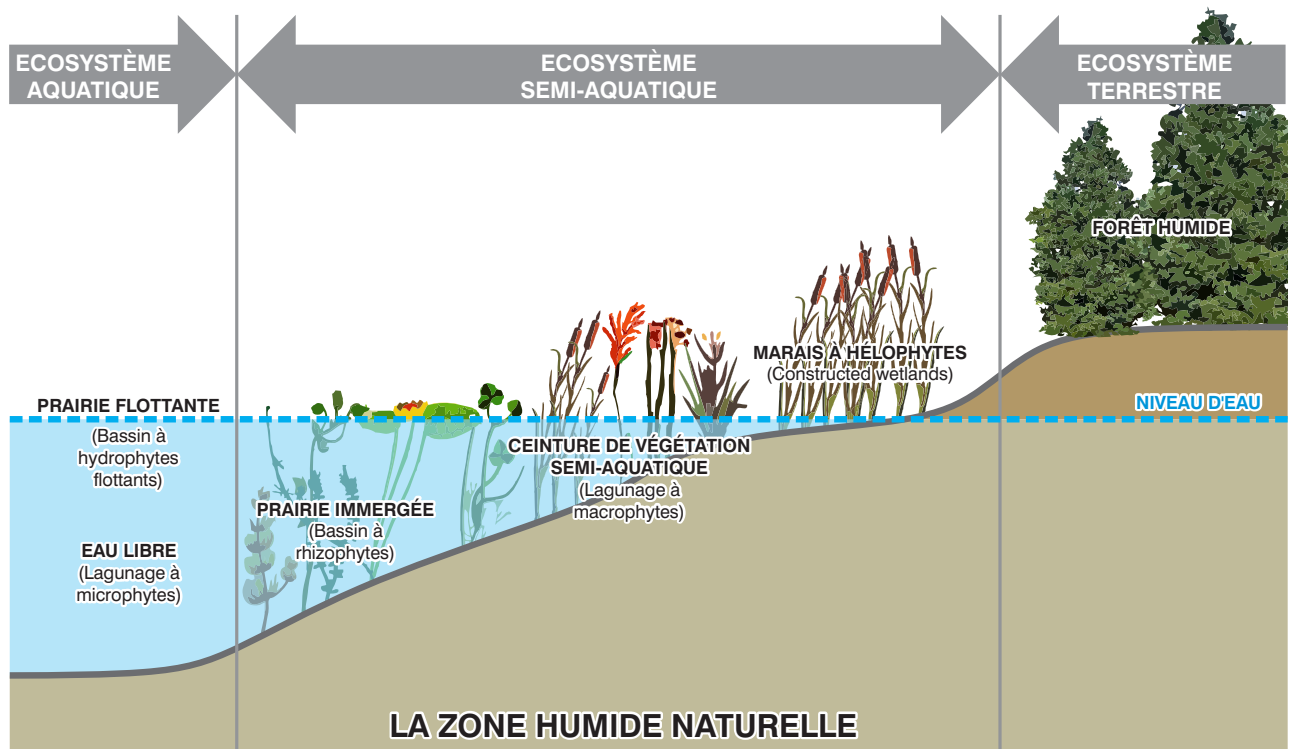
### 4.1.6.2. Les techniques extensives

Les principes de base des techniques extensives sont intéressants dans la mesure où ils s'inspirent de l'activité biologique des écosystèmes aquatiques naturels. Les écosystèmes aquatiques ont en effet une capacité naturelle d'épuration basée sur la transformation et l'assimilation des polluants dits « domestiques » par les chaînes alimentaires aquatiques.

Les techniques extensives reproduisent le schéma des cycles naturels de certains éléments tels que l'azote ou le carbone dans des bassins étanches et plantés. L'intérêt des techniques extensives réside dans leur grande flexibilité lors des variations de charges organiques (concentrations) ou de charges hydrauliques.

Les eaux usées à épurer par technique extensive doivent être préalablement prétraitées (fosse septique)

Les différentes techniques sont les suivantes :



Ecosystème aquatique naturel - principe

### → Lagunage et techniques dérivées – 10m<sup>2</sup>/E.H

Les lagunes sont des zones du milieu aquatique où la vitesse d'écoulement est ralentie et où prolifèrent des bactéries et autres organismes vivants consommant des matières organiques. On parle d'eau stagnante et d'écosystème « eau libre ». Ce type de lagune peut se présenter sous différentes variantes : lagunages à plantes immergées, lagune à plantes émergentes (prairies flottantes) ou enracinées, lagune à rhizophytes fixés, ... De manière générale, les lagunes ont une emprise au sol plus conséquente que les marais reconstitués.

Le système d'épuration au moyen de lagunes doit au minimum comporter :

- une lagune à microphytes contenant des algues et des micro-organismes
- une lagune à macrophytes contenant diverses plantes

C'est la complémentarité entre les micro-organismes, les algues et les plantes qui rend cette technique efficace. D'un côté les micro-organismes dégradent les matières organiques et les minéralisent. Les boues issues de la dégradation des matières organiques s'accumulent au fond des bassins. De l'autre côté, les algues et les plantes profitent d'un milieu riche en dérivés azotés et phosphorés pour proliférer. Grâce au rayonnement solaire (qui élimine une partie des contaminants biologiques), ces végétaux peuvent pratiquer la photosynthèse, absorbant ainsi du CO<sub>2</sub> et rejetant de l'oxygène qui alimentera les micro-organismes.

Un cycle biologique se met donc en place. C'est le principe de base du lagunage qui peut prendre des formes diverses selon le contexte d'implantation.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS

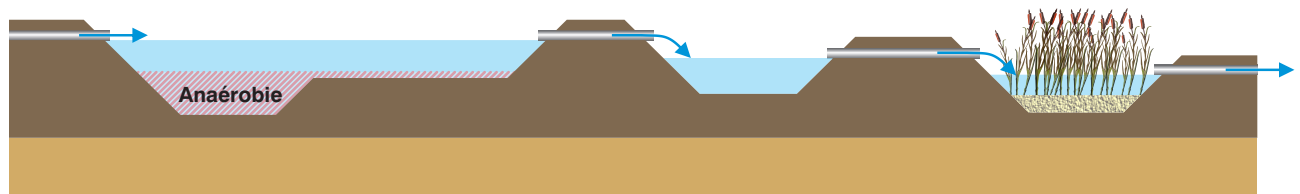


### Lagune à microphytes

La lagune à microphytes est un bassin de minimum 75 cm profondeur – pour éviter l'installation de plantes autres que les algues unicellulaires – reçoit des eaux brutes chargées de matières organiques, après un « dégrillage » et un passage dans un bac dégraisseur. Son fonctionnement repose sur l'action combinée des algues unicellulaires et des bactéries. Grâce au rayonnement lumineux, les algues produisent de l'oxygène qui permet la respiration et le développement des colonies bactériennes. Les bactéries – ainsi que certains champignons microscopiques – dégradent la matière organique en azote ammoniacal. Celui-ci, dans un milieu bien oxygéné, se transforme en nitrates assimilables par les algues.

#### Données techniques:

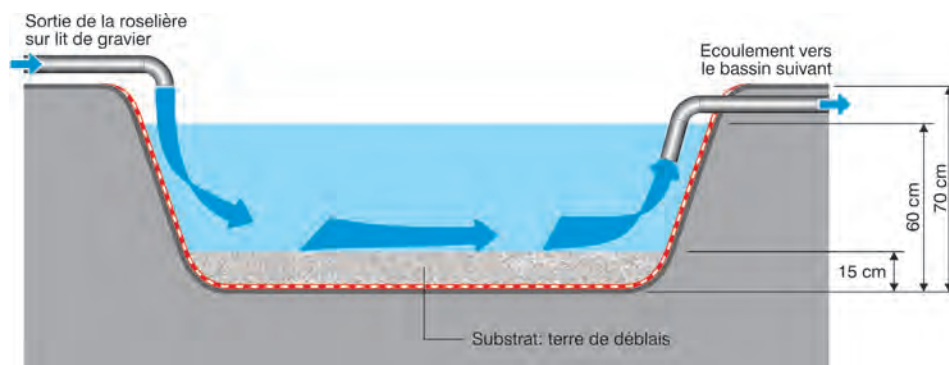
- Surface :  $7.5m^2/E.H$
- Hauteur d'eau : 60cm
- Substrat : terre argileuse de déblais
- Hauteur de substrat : 15cm



Lagunage à microphytes anaérobie + aérobie 50%

Lagunage à microphytes aérobies 25%

Lagunage à macrophytes 25%



### Lagune à macrophytes

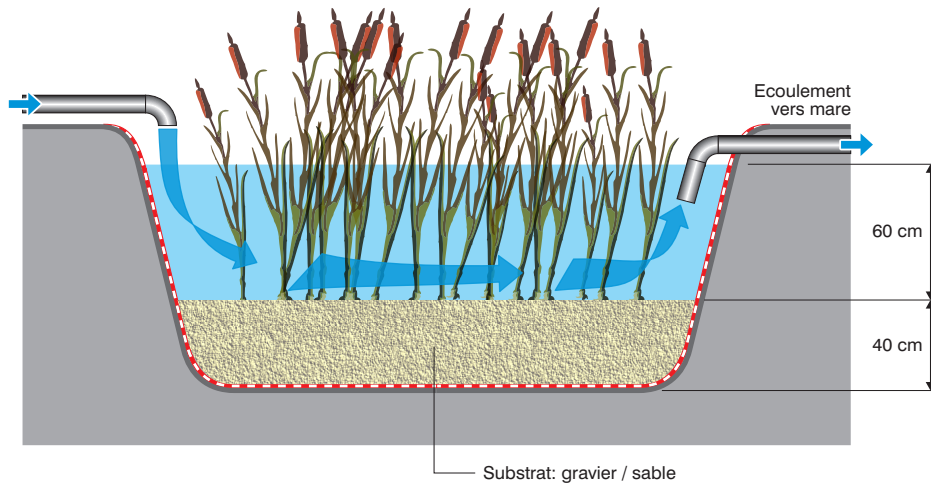
La lagune à macrophytes est un bassin planté de végétaux (scirpes lacustres, phragmites, massettes, iris, joncs) avec une hauteur d'eau de 60cm. Les végétaux sont fixés dans un substrat composé de sable et gravier de 40cm d'épaisseur. Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes. Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie des sels minéraux – nitrates et phosphates – issus de la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées. La plupart des macrophytes sont capables d'assimiler les métaux lourds, toujours présents dans les eaux usées.

#### Données techniques :

- Area:  $2.5 m^2/E.H$ .
- Water depth: 60 cm
- Substrate (40cm): sand and gravel

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Source: [www.eautarcie.com](http://www.eautarcie.com)



### → Marais reconstitués ou filtres plantés

#### **Filtre à sable planté de roseaux (procédé Seidel – 3 à 7 m<sup>2</sup>/E.H.)**

Ce marais reconstitué se caractérise par un écoulement vertical de l'eau dans le bassin. L'emprise au sol est très réduite mais le terrain doit présenter une déclivité d'au moins 150 cm. L'imperméabilisation est réalisée par une maçonnerie de blocs ou par la pose de cuves préfabriquées en béton.

Les roseaux empêchent le colmatage du filtre, fournissent l'oxygène à la biomasse et participent à l'épuration par l'absorption de l'azote et du phosphore.

#### Données techniques :

- Surface : 3 à 7 m<sup>2</sup>/E.H
- Hauteur d'eau : /
- Substrat : terre, sable de rivière, ballast 20-40mm. Substrats utilisés en couches successives de différentes épaisseurs
- Hauteur de substrat : 150cm
- Plantes : Roseaux

#### **Roselière sur lit de gravier (procédé Kickuth – 5m<sup>2</sup>/E.H.)**

Ce marais reconstitué se caractérise par un écoulement horizontal de l'eau dans le bassin.

L'imperméabilisation est réalisée par la pose d'une membrane EPDM sur une assiette de sable stabilisé. L'ensemble du bassin est rempli de grenailles de manière à ce que le niveau d'eau soit au minimum 5cm sous le niveau du substrat.

Les roseaux doivent occuper les 3/4 de la surface en amont de la lagune, le 1/4 aval devant être planté d'une autre espèce.

#### Données techniques :

- Surface : 5 m<sup>2</sup>/E.H.
- Hauteur d'eau : 60cm
- Substrat : grenailles calibre 7-14mm
- Hauteur de substrat : 70cm
- Plantes : Roseaux, iris des marais, jonc, rubasier,...

#### **Marais reconstitué (3 à 4 m<sup>2</sup>/E.H.)**

#### Données techniques

- Surface : 5 à 8 m<sup>2</sup>/E.H.
- Substrat : terre, grenailles et sable du Rhin
- Hauteur de substrat : 60cm

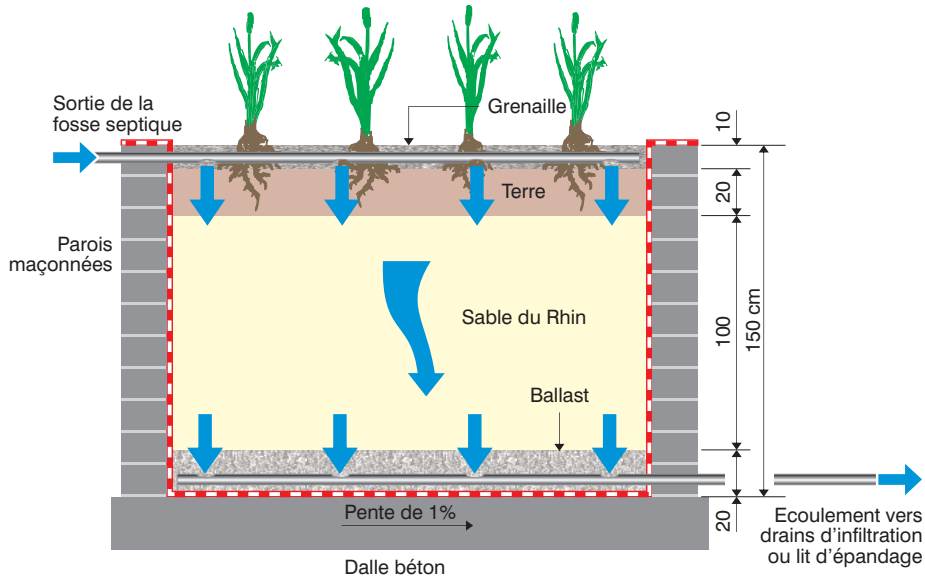
Nécessité d'une zone tampon de 1,5m<sup>3</sup> (sans substrat – hauteur d'eau de 60cm)

La lagune proprement dite est remplie de substrat - sans eau apparente.

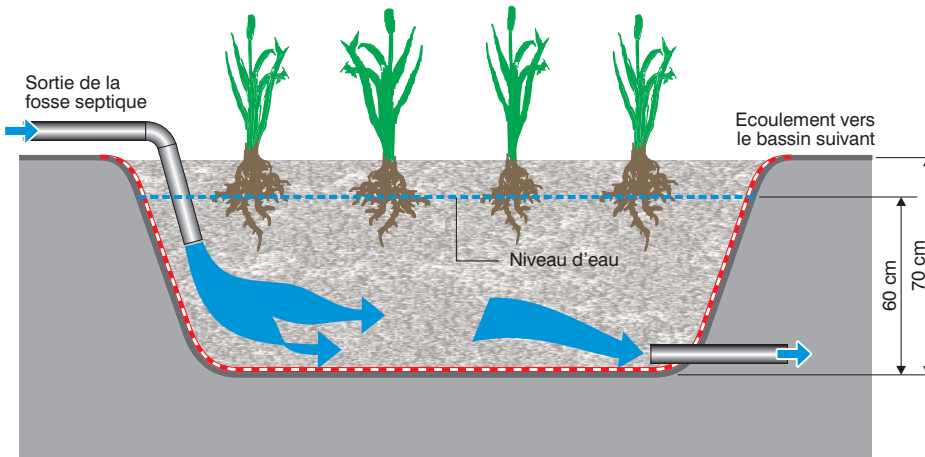
L'évacuation se fait au niveau inférieur de la lagune.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

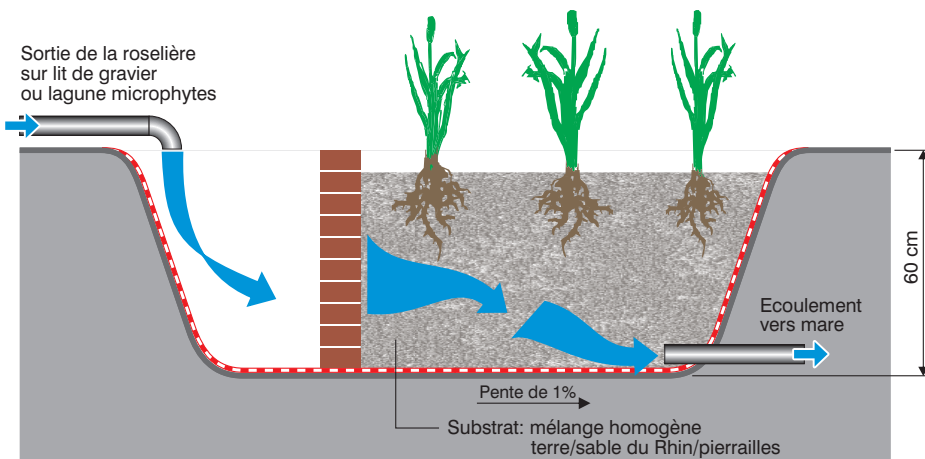
## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



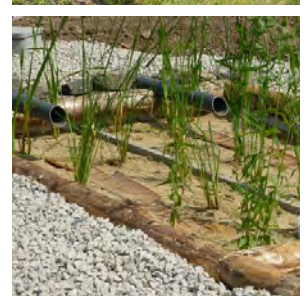
Principe du filtre à sable planté de roseaux



Principe de la roselière sur lit de gravier



Principe du marais reconstitué



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### → Plants used for extensive purification

Plants varieties used for their purification abilities are aquatic, semi-aquatic and/or terrestrial varieties. They include:



1. Lentilles d'eau
2. Nénuphars blancs
3. Massettes
4. Trèfle d'eau
5. Phragmites
6. Roseaux
7. Iris des marais
8. Salicaire
9. Joncs
10. Saule

### 4.1.6.2. Les techniques intensives

#### Remarque préalable

Les techniques dites "intensives" ne sont pas les techniques les plus efficaces dans tous les domaines de l'épuration.

En effet :

- leur efficacité reste limitée au niveau de la pollution tertiaire (azote et phosphore) et quaternaire (bactériologique);
- ces techniques sont plus énergivores que les techniques dites « extensives » car elles nécessitent l'utilisation de pompes, d'aérateurs... ;
- leur entretien nécessite une main d'œuvre qualifiée.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, ces techniques ne seront abordées que de manière succincte.

### → Disques biologiques

Les disques biologiques sont un procédé de traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les disques biologiques utilisent le principe de transformation et de destruction des matières organiques par des micro-organismes fixés sur un support.

Le support sur lequel sont fixés les micro-organismes sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation lequel assure à la fois le mélange (effluent et micro-organismes) et l'oxygénation des micro-organismes. Les cultures de micro-organismes forment à la surface des disques un « biofilm » ou film biologique épurateur.

L'effluent est préalablement décanté pour éviter le colmatage du matériau support. Les boues qui se décrochent sont séparées de l'eau traitée par clarification.

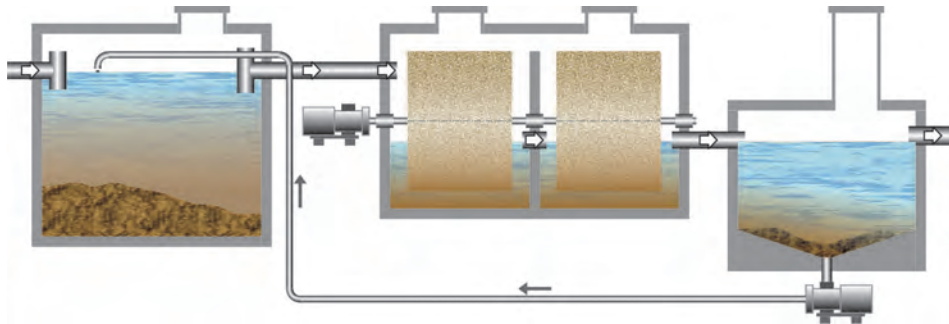
L'unité de disques biologiques est constituée de disques montés sur un arbre dans un bassin à l'air libre rempli d'eaux usées. Les disques tournent lentement dans le bassin et lorsqu'ils passent dans les eaux usées, les matières organiques sont absorbées par le biofilm fixé sur les disques. L'accumulation de matières biologiques sur les disques en augmente l'épaisseur et forme une couche de boues. Lorsque les disques passent à l'air libre, l'oxygène est absorbé, ce qui favorise la croissance de la biomasse. La biomasse, après avoir absorbé les matières organiques, les dégrade par fermentation aérobie grâce à l'oxygène.

### → Boues activées

Les boues activées sont un procédé de traitement biologique aérobie à culture libre. Dans ce procédé de traitement, les micro-organismes se développent dans un bassin alimenté d'une part en eaux usées à traiter et d'autre part en oxygène

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



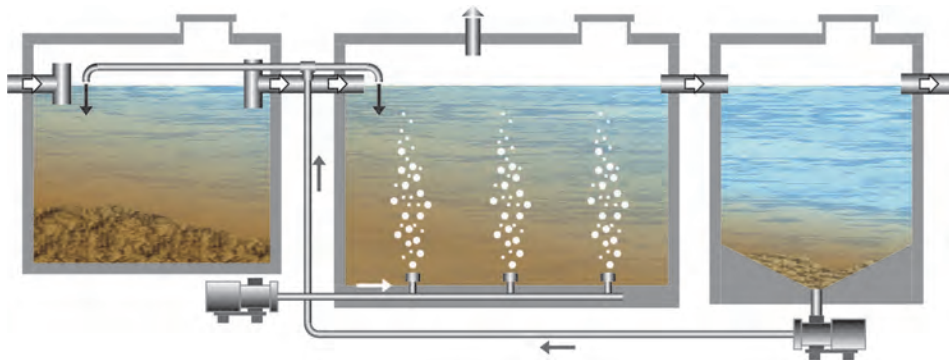
par des apports d'air.

Les micro-organismes, en suspension dans l'eau du bassin, sont donc en contact permanent avec les matières polluantes dont elles se nourrissent et avec l'oxygène nécessaire à leur assimilation.

Il y a donc une aération importante (consommation importante d'énergie) pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation des matières polluantes.

Ce procédé est utilisé pour 2 utilisations spécifiques :

- Élimination de la pollution carbonée (matières organiques)
- Élimination de la pollution azotée



### → Lit bactérien (aérobie)

Le lit bactérien aérobie est un procédé de traitement biologique aérobie à culture fixée. Les micro-organismes se développent sur un matériau support placé au-dessus du niveau de l'effluent à traiter et régulièrement irrigué par celui-ci. Le support est constitué d'un filtre de matériaux poreux ou caverneux : pierres volcaniques, gravier, matières synthétiques... sur lequel les micro-organismes forment un biofilm ou film biologique responsable de l'assimilation de la pollution. Le filtre est constamment aéré par aération naturelle ou par ventilation forcée.

L'eau à traiter est dispersée sur la partie supérieure du lit au moyen d'un distributeur rotatif (sprinkler). Celle-ci percole au travers du filtre. Les matières polluantes sont alors absorbées par le film biologique qui est constitué de bactéries aérobies en surface et de bactéries anaérobies en profondeur. Le film biologique est essentiellement constitué de bactéries mais accueille également d'autres organismes intégrés dans une chaîne alimentaire plus ou moins complexe (protozoaires, insectes...).

Les sous-produits et le gaz carbonique normalement produit par le procédé d'épuration s'évacuent dans les fluides liquides ou gazeux. Les boues excédentaires (épaississement du film biologique) qui se décrochent naturellement du support sous l'effet de la charge hydraulique sont séparées de l'effluent par décantation secondaire (décanteur-digester).

*Remarque :*

*Ce système subit une chute sensible de rendement lorsque la température extérieure descend en-dessous de 5°C.*

### → Biomasse immergée (aérobie)

Les micro-organismes sont fixés sur un support entièrement immergé dans les eaux usées et/ou flottent en flocons. Des éléments d'aération placés sous le support assurent l'oxygénation de ceux-ci.



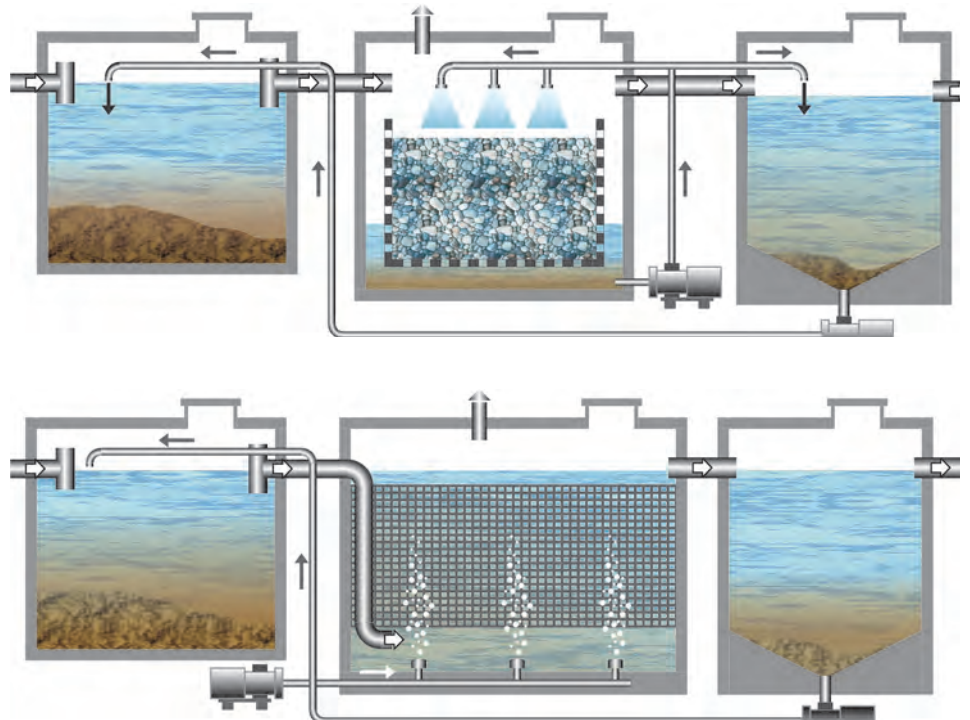
# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Les micro-organismes vont se nourrir, en partie, des nutriments (azote, phosphore) contenus dans les eaux usées et se servent du carbone des matières organiques pour synthétiser leur propre matière. Ils en retirent l'énergie nécessaire à leur survie.

Les micro-organismes morts, forment des floccs qui sédimentent (sous forme de boues) dans le fond de la cuve.



### 4.1.6.3. Comparaison des techniques d'épuration

		Techniques intensives		Techniques extensives décentralisées	
		Disques biologiques Lits bactériens Boues activées...	Lagunage bassins en eau libre	Ecosystèmes artificiels EPUVAL	
Aspects techniques	Encombrement - rendement (surface/E.H.)	< 1m <sup>2</sup> / E.H. 	10 - 15 m <sup>2</sup> / E.H. 	5 - 10 m <sup>2</sup> / E.H. 	
	Efficacité de l'épuration	MES, DBO5, DCO 	MES, DBO2, DCO, N, pathogènes 	MES, DBO3, DCO, pathogènes, N, P pathogènes 	
	Rejet en eau de surface				
	Intérêt si variation des charges (organiques / hydrauliques)	Rejet des eaux usées diluées sans épuration 	flexibilité - long temps de séjour 	flexibilité - long temps de séjour 	
	Facilité de gestion, entretien et maintenance	Personnel qualifié 	sans qualification particulière 	sans qualification particulière 	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Aspects environnementaux	Utilisation de produits chimiques	Flocage, chloration, eau de javel, soude 	déconseillé 	déconseillé 
	Consommation énergétique	0.51 à 1.06 kWh/m <sup>3</sup> 	< 0.1kWh/m <sup>3</sup> 	< 0.1kWh/m <sup>3</sup> 
	Risque de pollution du milieu (sous-sol et eau)	fuites dues au réseau d'égout, gestion et maintenance du réseau 	assurer une bonne étanchéité des bassins 	assurer une bonne étanchéité des bassins 
	Useable sub-products from installation	Boues, méthane, bactéries d'épuration 	Boues, méthane, biomasses végétale et animale, eau après épuration 	Boues, méthane, biomasses végétale et animale, eau après épuration 
	Bénéfices pour l'environnement et l'humain	Energy production if CH4 used 	Biodiversité, aspects éducatifs, production d'énergie (CH4) 	Biodiversité, aspects éducatifs, production d'énergie (CH4) 
Aspects économiques	Coût d'investissement	700 à 1200 euros/EH 	350 à 600 euros/EH 	350 à 1600 euros/EH 
	Entretien	400 euros/EH 	15 euros/EH 	30 euros/EH 

Source : © CERAA - MATRICIEL - www.matriciel.be – Auteur : L.Dinaer

### 4.1.7. Epurer les eaux usées brutes

L'ensemble des eaux usées, eaux noires et eaux grises peut également être épuré au moyen de techniques extensives, sous forme d'une succession de plusieurs bassins, appelée Agencement d'Écosystèmes Aquatiques Reconstitués (AEAR). Il existe différents types d'agencement. Le choix se fera en fonction de :

- la superficie de terrain disponible
- la morphologie du terrain
- le nombre d'occupants et le volume d'eau rejeté

#### 4.1.7.1. Agencement d'Écosystèmes Aquatiques Reconstitués – de 2,5 à 10m<sup>2</sup>/E.H., jusqu'à 20 E.H.

Les agencements sont de deux types:

##### → Les agencements simples

Agencement composé d'un filtre planté à écoulement vertical ou horizontal. Les eaux épurées doivent obligatoirement être évacuées dans le sol dans lequel une épuration tertiaire (nitrates et phosphates) pourra être réalisée.

##### → Les agencements complexes

Agencements composés de deux à quatre bassins:

- Roselière sur gravier ou filtre à sable planté
- Marais reconstitué

ou

- Roselière sur gravier ou filtre à sable planté

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



- Lagune à microphytes
- Marais reconstitué
- Exutoire : mare à poissons indigènes

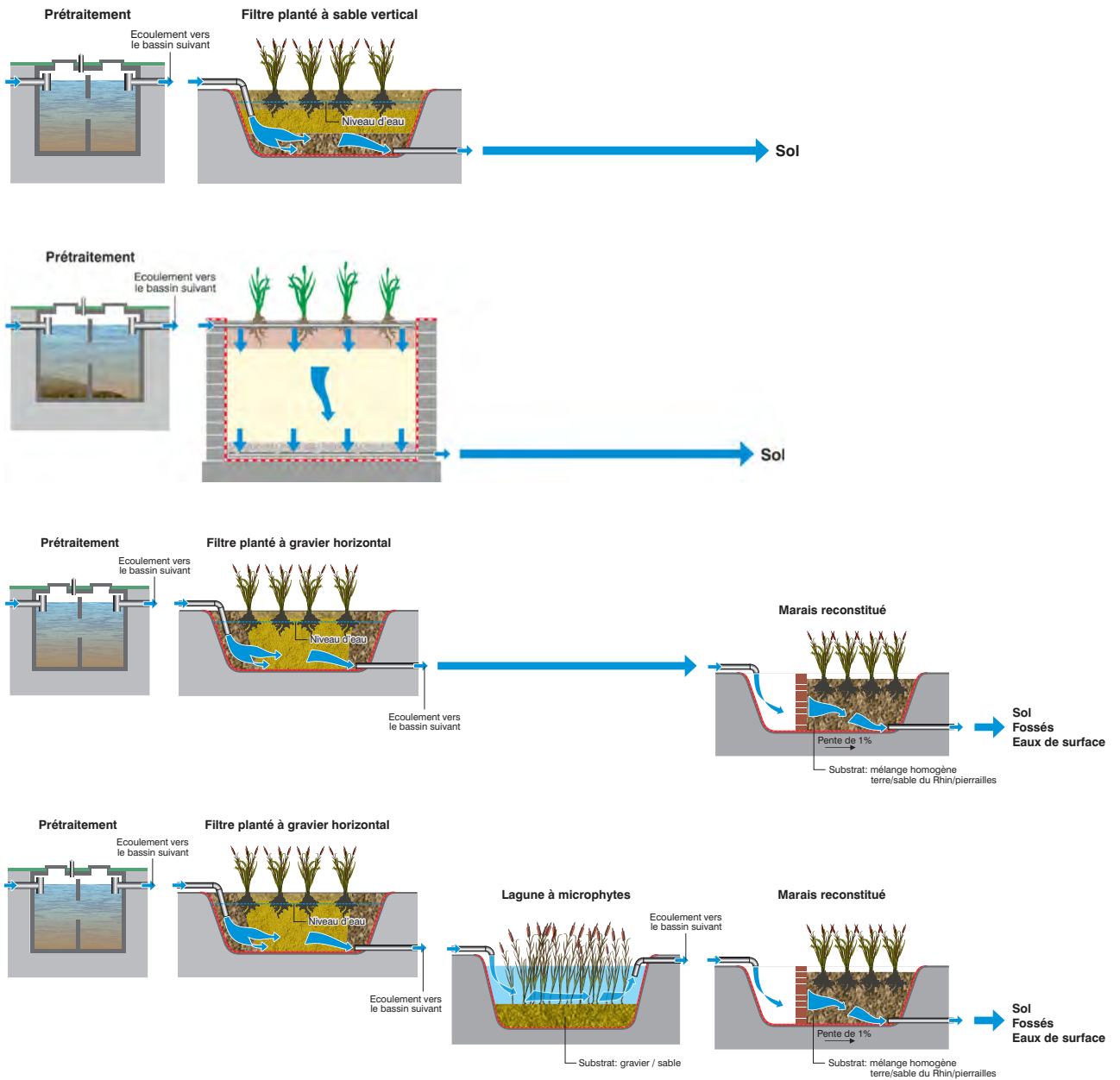


Image : Catherine Massart



Image : Catherine Massart

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.1.7.2. Autres systèmes extensifs d'épuration des eaux brutes

#### → Le procédé EPUVAL (5,6 à 7m<sup>2</sup>/E.H) de 5 E.H. à 650 E.H.

Procédé développé par l'asbl EPUVALEAU et la Faculté Universitaires des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique). Ce système d'épuration utilise les principes du procédé Kickuth à écoulement horizontal et peut épurer de grandes quantités d'eau usées : de 5 à 650 E.H.

<http://www.epuval.eu>

### 4.1.7.3. Systèmes mixtes d'épuration des eaux brutes

Les systèmes mixtes combinent un traitement intensif et un traitement par voie naturelle. On peut notamment citer :

#### → Le procédé INCOMATS (Integrated Conventional Macrophyte Treatment System)

Système d'épuration des eaux usées brutes qui combine un traitement conventionnel ( biorotor et boues activées) avec un traitement extensif ( bassins à macrophytes et marais reconstitué).

Exemple:

Jardin Zoologique National d'Anvers – PLANCKENDAEL :

- épuration de 30 m<sup>3</sup>/jour ;

- surface occupée : 900 m<sup>2</sup>

#### → Le procédé "Sidwell Friends School" (Washington, USA)

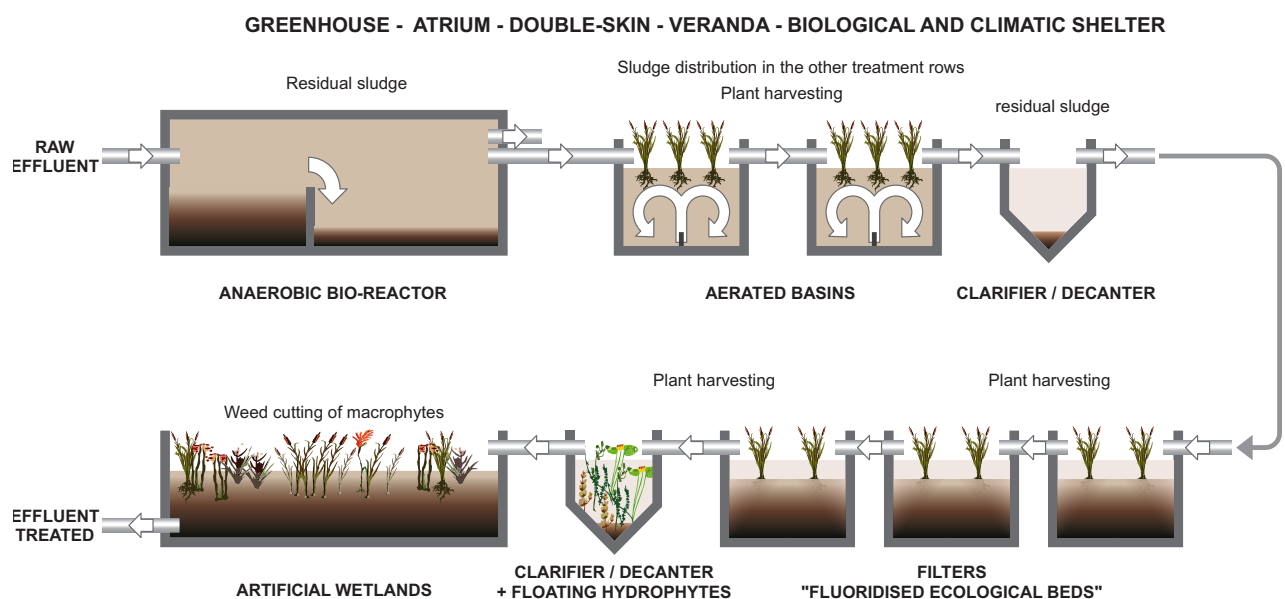
Système d'épuration des eaux usées brutes par un traitement par filtres biologiques (biomasse fixée aérobie) combiné à des filtres plantés de roseaux installés dans la cour de récréation de l'école

- épuration de 11,5 m<sup>3</sup>/jour

- récupération des eaux « recyclées » pour l'alimentation des WC et pour l'arrosage des abords

#### → Le procédé "LIVING MACHINE"

Ce procédé d'épuration est réalisé dans une serre, un atrium ou encore une façade double-peau qui sont ici considérés comme un « abri » biologique et climatique. Le principe est lprésenté ci-après:





### 4.1.8. Recycler les eaux usées d'une école : questions et recommandations

#### → Le terrain est-il adapté à un système d'épuration extensive ?

Le terrain idéal pour l'aménagement d'une unité d'épuration par lagunage présente les caractéristiques suivantes :

- une surface disponible assez conséquente ( $> 50\text{m}^2$ )
- la possibilité d'aménager le(s) bassin(s) au moins à 5m d'arbres à hautes tiges
- un accès stable et suffisamment large pour la pose de la fosse septique, le terrassement des lagunes et l'apport des substrats (sable, graviers,...) ;
- une déclivité d'au moins 60 cm entre les canalisations d'évacuation des eaux usées et le rejet des eaux après épuration ;
- la présence éventuelle de roches dures à une profondeur d'au moins 1m sous la surface du sol.

*Remarque:*

*Etre en possession d'un terrain peu perméable voir imperméable peut représenter une économie du poste étanchéité, on utilisera une couche d'argile à la place de la membrane.*

*Toutes ces caractéristiques ne doivent pas nécessairement être réunies pour permettre l'aménagement d'un système de lagunage. Par exemple, si la topographie du terrain n'est pas favorable, le placement d'une pompe de relevage est toujours possible mais il faut prévoir un surcoût d'environ 1.000 euros.*

#### → Comment aménager les bassins ?

Le terrassement du (des) bassin(s) de lagunage (+ fosse septique) génère un volume de terres de déblais assez conséquent. Dans certains cas, ces terres peuvent être épandues sur place sinon, les terres doivent être chargées sur un camion et transportées, ce qui représente un surcoût pour la réalisation des travaux.

Les bassins de lagunage doivent toujours être imperméabilisés. Selon le type de bassin à aménager, l'imperméabilisation est réalisée :

- par une maçonnerie en blocs de coffrage et cuvelage intérieur (cimentage hydrofuge);
- par la pose de cuves préfabriquées en béton ;
- par le placement de membranes synthétiques (EPDM) posées sur une assiette de sable stabilisé.

La plupart des bassins d'épuration sont complètement remplis de divers substrats (sable ou graviers). Cette caractéristique est essentielle pour garantir les avantages suivants :

- absence de mauvaises odeurs
- sécurité totale contre le risque de chute d'un enfant dans l'eau,
- pas de prolifération de moustiques.

Le substrat dans lequel les plantes aquatiques sont enracinées doit garantir :

- un bon écoulement de l'eau
- un bon contact entre l'eau à épurer et les racines des plantes aquatiques
- la fixation des micro-organismes (plancton, bactéries, rotifères,...)

#### → Quel prétraitement est nécessaire ?

Les eaux usées, avant d'être acheminées vers les bassins d'épuration doivent obligatoirement être prétraitées:

- les eaux noires ou vannes sont prétraitées dans une fosse septique
- les eaux grises sont au minimum prétraitées dans un dégraisseur

#### → Le temps de séjour de l'eau à épurer

Le temps de séjour des eaux à épurer dans les bassins de lagunage doit être au moins équivalent à 30 jours<sup>1</sup>. Cela correspond à une surface totale « de plan d'eau » d'environ 5 à 7 m<sup>2</sup>/E.H

#### → L'étanchéité des bassins

Les bassins des systèmes d'épuration extensive doivent obligatoirement être étanches afin d'éviter toute pollution des nappes phréatiques. De plus, si les bassins ne sont pas suffisamment étanches, ils risquent de ne jamais se remplir d'eau et donc de ne pas remplir correctement leur rôle d'assainissement.

<sup>1</sup> Un temps de séjour de 30 jours est demandé pour les systèmes de lagunage. Par contre les techniques de marais reconstitués demandent un temps de séjour moins important

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### → L'écoulement et l'évacuation des eaux épurées

Il faut être attentif au bon écoulement des eaux entre les différents bassins. L'isolation des canalisations doit être prévue en cas de périodes de gel. L'évacuation des eaux épurées se fait dans le sol, via :

- un lit d'épandage souterrain ;
- un fossé ;
- un réseau d'eau de surface, lorsqu'il n'est pas possible de recourir aux deux premiers procédés ;

### → Et l'entretien ?

Pour que les systèmes extensif d'épuration des eaux usées fonctionnent efficacement il est important de surveiller de manière hebdomadaire l'ensemble du système (prétraitement, lagunes ou marais), et d'entretenir correctement les abords du système (tonte des espaces verts à proximité, ramassage des feuilles en automne...) afin que ceux-ci ne perturbent pas le fonctionnement du système extensif.

De plus, il est important de faucher les plantes aquatiques une fois par an, à l'automne. Cet entretien annuel est nécessaire car, vu l'importance de la biomasse végétale, la lagune s'ensourcille très rapidement.

Le fauchage permet également d'extraire les éléments minéraux (azotés et phosphatés) qui ont été accumulés dans les tissus des végétaux. Si le fauchage n'est pas réalisé, le bilan épuratoire des végétaux est quasiment nul. Le fait que la lagune soit remplie d'un substrat permet un fauchage sans risque et aisé (les plantes fauchées sont également plus facilement récoltables, à la surface du gravier).

Dans le cas de lagunage à eau libre, il faut également prévoir, tous les 5 à 10 ans, l'élimination des boues accumulées au fond de la lagune, appelée « opération de curage ». Deux techniques sont envisageables :

- la première consiste en la vidange de la lagune suivie du raclage des sédiments, à l'aide d'un engin de chantier par exemple. Elle nécessite toutefois la mise en place d'un bypass des eaux usées le temps du raclage.
- la seconde, non invasive, consiste en un pompage des boues par l'intermédiaire d'un radeau qui se déplace en surface de la lagune. Cette méthode ne nécessite pas de modifier le fonctionnement habituel de la lagune.

Il est également important de prévoir un curage de la fosse septique tous les 2 à 5 ans en fonction des consommations et des rejets. Le dégraisseur demande un entretien très régulier.

### **A retenir:**

- Identifier les contraintes et les potentialités du site d'implantation de l'école, favorisant l'utilisation de techniques d'épuration extensive
- Choisir un procédé d'épuration extensif et optimiser son dimensionnement
- Garantir la performance épuratoire du système choisi et la qualité des eaux rejetées
- Assurer l'étanchéité de tous les éléments du système et l'isolation des différentes canalisations
- Assurer l'entretien annuel des plantes
- Pour le rejet des eaux, après épuration, privilégier l'infiltration dans le sol et/ou l'évacuation dans un réseau d'eau de surface

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



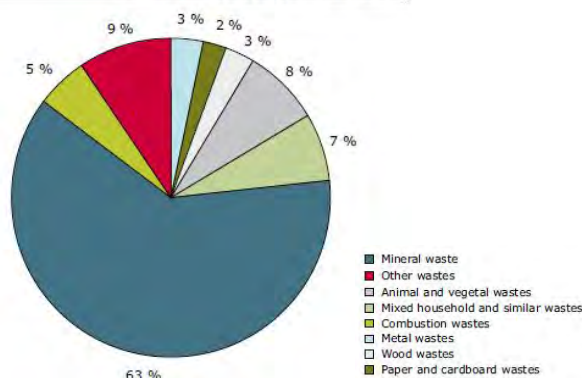
### 4.2. Réduire, gérer et valoriser les déchets de construction et démolition



#### 4.2.1. Quantité et répartition des déchets de construction par pays

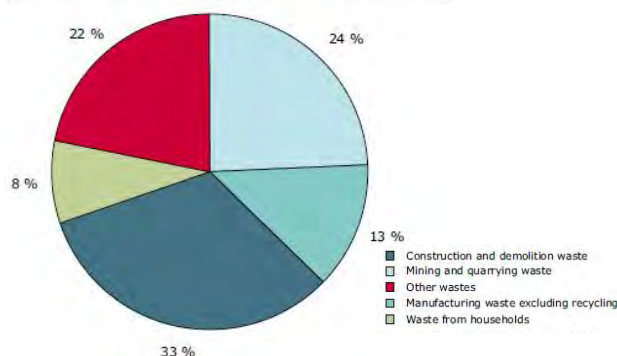
Pays	Habitants	Production de déchets par an	Distribution
<b>France</b>	65.436.552 (2011) <i>Source: World Bank</i>	38,000,000 tonnes <i>Source: Service de l'Observation et des statistiques de l'Environnement, enquête sur les déchets produits par l'activité de construction en France, 2008</i>	72.4% déchets inertes 26.1% déchets industriels 1.5% déchets dangereux <i>7% de déchets sont générés par de la construction neuve, 28% par des travaux de réhabilitation et 65% par des travaux de démolition.</i>
<b>Belgique</b>	10.951.266 (2011) <i>Source: http://statbel.fgov.be</i>	18,164,909 tonnes <i>Source: chiffres 2011, http://statbel.fgov.be</i>	83% déchets inertes
<b>Norvège</b>	5.000.000 (2012)	1,540,000 tonnes (2010) <i>soit 18% du total des déchets produits. 35% (0.54 millions de tonnes) of the total waste generated from building activities in 2010 came from rehabilitation activities. Construction activities generated 34 per cent (0.52 millions tonnes), and demolition generated the last 31 per cent (0.48 million tonnes).</i>	40% déchets inertes 18% déchets industriels 14% déchets de bois 14% déchets d'asphalte
<b>Italie</b>	60.626.442 (2011) <i>source: Itstat</i>	56.700.000 tonnes <i>de déchets inertes non dangereux produits par le secteur de la construction (2009)</i>	Déchets inertes : +/- 50 millions de tonnes Non recyclé : 37 millions de tonnes (2011)

Figure 3.2 Waste streams in the EU-27 and Norway by type of waste



Source: Eurostat - Data Centre on waste 2010

Figure 3.1 Total waste generation in the EU, EFTA, Turkey and Croatia in 2006 by source



Source: Eurostat - Data Centre on waste 2010

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.2.2. Mesures préventives : réduire à la source

Pour optimiser la gestion des déchets de chantier et leur valorisation, il est important de limiter la production de déchet sur le chantier de rénovation et d'améliorer le tri pour permettre la récupération de matériaux les plus « propres » possibles et leur recyclage.

Les travaux de rénovation vont inévitablement entraîner un volume de déchets de construction portant à la fois sur les travaux de démolition et sur les travaux de remise à neuf.

En termes de rénovation durable, il convient donc de travailler sur trois grands axes de manière à limiter la mise en décharge et l'incinération des déchets :

- La prévention, c.à.d. limiter au maximum les déchets de construction lors du chantier de rénovation et lors des transformations ou démolition future du bâtiment par certaines mesures préventives comme le choix du procédé de construction, le choix des matériaux de construction et le choix de la mise en œuvre sur chantier;
- La valorisation c.à.d. favoriser le recyclage et la réutilisation des déchets de démolition par un tri optimal de ceux-ci sur chantier ;
- L'élimination, lorsque la valorisation n'est pas possible, via deux filières : l'incinération avec valorisation énergétique et la mise en décharge (à réduire au minimum).

#### 4.2.2.1. Mesures préventives en phase de conception – adaptabilité du bâtiment

En tout premier lieu, il y a lieu de vérifier si le(s) bâtiment(s) existant(s) est apte à accueillir et à intégrer le programme et les fonctions souhaités en fonction de ses caractéristiques propres : superficie, hauteur sous plafond, répartition des espaces, répartition des ouvertures... Ensuite le concepteur veillera, lors de sa conception, à :

- proposer une rénovation qui rationalise l'utilisation de matériaux et/ou réutilise certains matériaux et éléments existants ;
- concevoir un bâtiment modulable dans le temps, permettant l'implantation de nouvelles fonctions, une restructuration intérieure et/ou une extension sans générer un volume important de déchets

Capacité du bâtiment à s'adapter	
L'adaptabilité du bâtiment traduit sa capacité à subir, sans altérer son usage ou les services qu'il rend, ces changements qui doivent s'effectuer dans une démarche durable et à un moindre coût environnemental (déchets, matières premières, énergies)	
<b>Flexibilité</b>	La flexibilité d'un bâtiment se mesure à la facilité de restructuration de ces espaces intérieurs. elle suppose un plan modulable, des ouvrages intérieurs démontables et des réseaux facilement accessibles.
<b>Elasticité</b>	L'élasticité est la capacité d'extension d'un bâtiment. L'élasticité suppose une réflexion particulière sur le plan masse, la volumétrie et l'aménagement intérieur mais aussi sur le système constructif et les façades.
<b>Evolutivité</b>	L'évolutivité désigne la capacité d'un bâtiment à intégrer les évolutions ou innovations aussi bien en matière de performances techniques que de mode de vie.
<b>Neutralité</b>	La neutralité est la capacité d'un bâtiment à accepter un changement important d'usage. Celle-ci suppose un travail particulier sur les volumes et les noyaux techniques et structurels du bâtiment.

Source: "Qualité environnementale des bâtiments", Ademe

#### 4.2.2.2. Mesures préventives sur le procédé constructif (lors d'un projet d'extension)

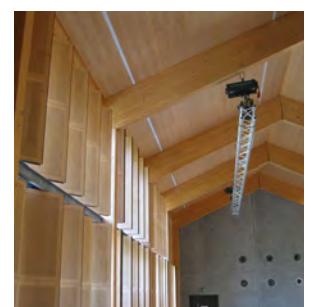
Le procédé de construction et les choix constructifs devront permettre de limiter au maximum les déchets de construction produits sur le chantier de rénovation. Pour ce faire, le concepteur veillera à :

- favoriser la préfabrication des éléments constructifs là où les avantages sont réels et exploitables (suivant la taille du projet, la localisation, la complexité de transport...). Cette solution permet également une mise en œuvre plus aisée (pas de prise de mesures et de découpe sur chantier) et une réduction sensible de la durée du chantier
- utiliser des éléments pré-montés de dimension standard en accord avec les dimensions structurelles des bâtiments pour éviter toute découpe sur site et donc production de déchets;
- s'assurer de la réversibilité des fixations entre les différents composants de l'élément préfabriqué et entre l'élément préfabriqué et son support (structure du bâtiment) pour permettre la désolidarisation en vue du recyclage et pour ne pas altérer les parties de bâtiment éventuellement maintenues. Les assemblages méca-



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Images © Atelier Alain Richard AA- AR

Pictures © infobois

niques, contrairement aux assemblages par collage permettent à la fois:

- un démontage aisé des différents matériaux assemblés
- un tri aisé
- un taux plus important de matériaux recyclés (qui partent vers les filières de recyclage)

### 4.2.2.3. Mesures préventives lors du choix des matériaux de construction (projet de rénovation)

Le choix des matériaux réalisé dans les premières étapes du processus de rénovation peut avoir des conséquences plus ou moins importantes, en fin de vie, sur la quantité de déchets produits et la gestion de ceux-ci en termes de valorisation ou d'élimination. De manière générale

- on exclura les matériaux ou les produits qui génèrent des déchets dangereux ;
- on considèrera la réutilisation de certains déchets sur le chantier, sans traitement préalable.

Au niveau du choix de matériaux, l'architecte veillera à:

- s'intéresser du marché local et/ou régional des déchets et du recyclage afin de mieux connaître les matériaux recyclables ainsi que la manière de choisir et d'associer ces matériaux selon leur classe de recyclage;
- favoriser l'utilisation de matériaux recyclables et réellement recyclés sur le marché local (travail de préparation préalable) ;
- choisir les matériaux en tenant compte prioritairement des possibilités de réemploi direct, ou de réemplois après remise à neuf, ou encore de recyclage;
- vérifier la composition des matériaux, l'origine des matières premières et la conformité avec les écolabels;
- favoriser des techniques de fixation réversibles afin de désolidariser les matériaux et de permettre la récupération des matériaux pour un second usage.

### 4.2.2.4. Mesures préventives lors de la mise en œuvre de nouveaux matériaux et éléments de construction

Les mises en œuvre permettant de prévenir la production de déchets, d'en réduire les quantités et d'en favoriser la réutilisation et le recyclage afin de réduire drastiquement la mise en décharge ou en centre d'incinération, sont basées sur le principe de réversibilité:

- utiliser des systèmes de fixation qui permettent le démontage et le remontage des éléments constitutifs afin de pouvoir récupérer les matériaux (réemploi /recyclage) et d'assurer un accès aisé pour l'entretien et la maintenance;
- éviter l'utilisation de matériaux composites ou de matériaux combinés non démontables ne permettant pas la désolidarisation des matériaux en vue de leur recyclage;
- dans le cas d'une combinaison de matériaux, veiller à utiliser des matériaux recyclables faisant partie de la même classe de déchets
- veiller à l'accessibilité des systèmes de fixation pour permettre le démontage ultérieur

La qualité de la mise en œuvre influencera considérablement la durée des éléments et des matériaux de construction. Dans l'objectif d'optimiser celle-ci, l'architecte veillera à:

- protéger lors de la mise en œuvre les matériaux contre les dégradations extérieures (pluie et humidité) – pour les matériaux neufs et pour les matériaux de récupération;
- respecter les prescriptions de mise en œuvre recommandées par les fabricants ou énoncées dans les normes afin d'éviter les dégradations ultérieures;
- la bonne compréhension des informations transmises aux entrepreneurs et tout corps de métier sur les techniques de mise en œuvre et les objectifs de performance;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



- la bonne organisation et coordination de chantier principalement pour les ouvrages qui nécessitent l'intervention de corps de métier successifs – afin d'éviter les mises en œuvre inadaptées ou les dégradations;
- sensibiliser les exécutants en informant sur les enjeux suivis par la méthode constructive proposée et fixer les exigences.

Régulièrement, lors du chantier, des modifications ont lieu tant au niveau du choix des matériaux que des assemblages. Ce faisant, il est important que ces modifications soient reprises avec précision dans les documents d'exécution.

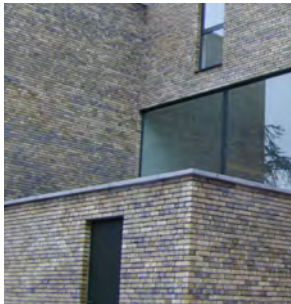


Image: Architecture et Climat

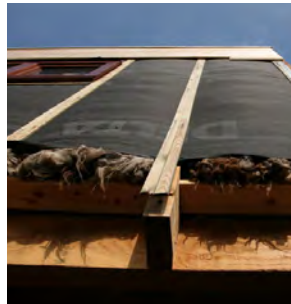


Image: © Calimucho.be



Image: Architecture et Climat



Image: Architecture et Climat

### 4.2.3. Gérer et valoriser les déchets sur chantier

L'industrie du recyclage est en pleine expansion. Il est donc important de valoriser les déchets de manière adéquate en fonction des filières locales existantes :

- mettre en place une gestion différenciée des déchets de chantier et organiser un tri des différentes catégories ou fractions de déchets « in situ » (les déchets mélangés sont toujours plus coûteux lors de leur évacuation) ;
- identifier les filières de valorisation existantes à une distance inférieure à 30km autour du chantier de rénovation, en privilégiant la valorisation « matière » plutôt que la valorisation énergétique ou le stockage en centre d'enfouissement technique
- collecter suffisamment d'informations (nature du déchet, type de déchet accepté et coût d'élimination selon la filière) dans une optique de réemploi.

Une gestion efficace des déchets permet de trier davantage et à la source les déchets de manière à pouvoir les valoriser dans les filières de recyclage. Une gestion efficace des déchets de démolition sur chantier implique de travailler en 5 phases:

- l'identification des différents matériaux intégrés au bâtiment existant et susceptibles de devenir des déchets;
- le démontage sélectif (et non la démolition) des différents matériaux;
- le tri des déchets, selon les obligations légales propres au pays ou à la région, selon les conditions locales et l'organisation du chantier ;
- le choix des filières de valorisation ou à défaut des filières d'élimination;
- l'identification des débouchés

#### 4.2.3.1. Les filières de valorisation des déchets

La valorisation consiste à redonner une valeur marchande aux déchets: on considère les déchets comme une ressource à exploiter et non comme un rebut dont il faut absolument se débarrasser.

Les filières de valorisation des déchets de construction permettent de maintenir autant que possible la valeur ajoutée par l'homme à la matière et cela selon la gradation suivante :

##### → La valorisation « matière »

- la conservation et le réemploi d'un élément, d'un produit ou d'un matériau de construction, celui-ci gardant sa fonction initiale ;
- la réutilisation d'un élément, d'un produit ou d'un matériau de construction pour une autre affectation ou fonction que la fonction initiale ;
- le recyclage d'un élément, d'un produit ou d'un matériau de construction: l'élément, le produit ou le matériau est introduit dans le cycle de production dont il est lui-même issu, en remplacement d'une matière première « neuve » ;
- le décyclage d'un élément, d'un produit ou d'un matériau de construction : l'élément, le produit ou le matériau est intro-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



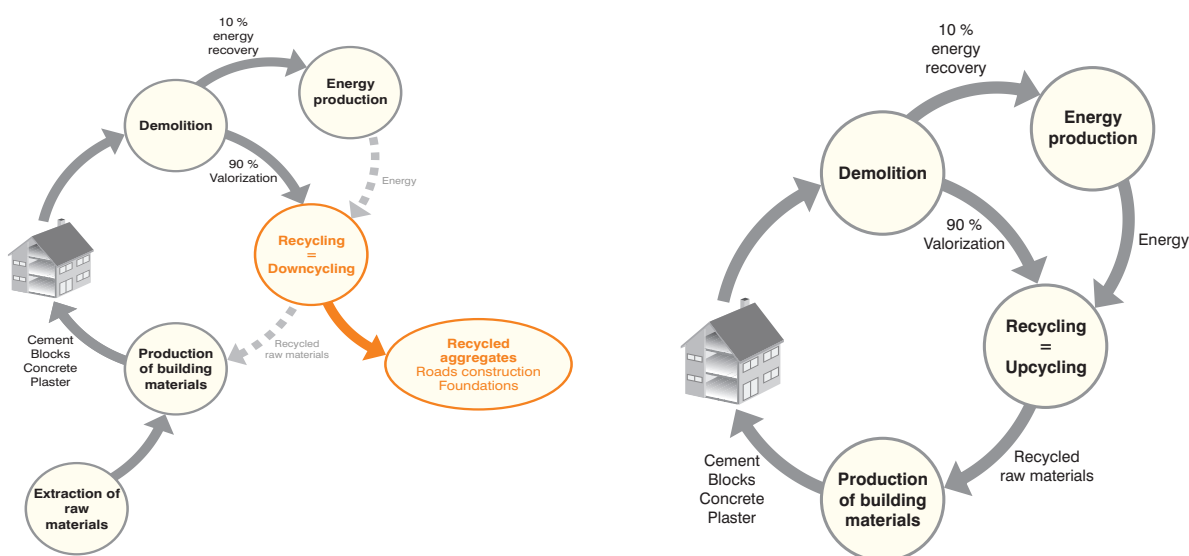
duit dans un cycle de production de produits de qualité, de valeur ou d'exigence technique moindre.

### → La valorisation « énergétique »

L'élément, le produit ou le matériau de construction est transformé en combustible: on utilise les calories contenues dans l'élément en le brûlant et en récupérant l'énergie.

### → La valorisation « organique »

L'élément, le produit ou le matériau de construction est composté ou biodégradable: la matière organique est transformée par un processus biologique naturel sous l'effet de l'oxygène. La matière ainsi transformée est rendue à la nature sous forme d'engrais ou de «nourriture».



#### Remarque :

Si les valorisations énergétique et organique permettent de réduire sensiblement la quantité de déchets produits à traiter, elles ne permettent cependant pas de redonner une existence au matériau usagé. En d'autres termes, elles bouclent un cycle de vie sans laisser la possibilité d'entamer un nouveau cycle.

Les filières valorisant la matière s'inscrivent toutes dans une politique dite des « trois R » :

- réduire les déchets de construction à la source;
- réutiliser les déchets de construction;
- recycler les déchets de construction.

La prévention et/ou la réduction en est le tout premier principe. Ce principe de réduction et de prévention est également la base même de toute politique environnementale ou soutenable: limiter les nuisances, limiter les risques, réduire les impacts...

#### 4.2.3.2. Décyclage et Recyclage, une nuance importante

En termes de valorisation « matière », il est important de faire la différence entre le décyclage (« downcycling » en anglais) et le recyclage (« upcycling » en anglais), comme le présentent les figures ci-avant pour le cas des déchets inertes. Ces deux processus de valorisation offrent trois avantages « écologiques » majeurs :

- la réduction du volume de déchets, et donc de la pollution potentielle que ceux-ci pourraient causer à l'environnement;
- la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de la matière première qu'on aurait dû extraire ;
- la préservation des ressources énergétiques, puis que la grande majorité des cas, les processus de fabrication qui utilisent des matières recyclées ont un besoin énergétique moins important qu'un processus de fabrication utilisant des matières premières.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### → Le décyclage

Le décyclage est un procédé par lequel on utilise un produit ou matériau de construction usagé en tant que matière secondaire pour la production d'un nouveau matériau ou produit de qualité, de valeur et/ou d'exigence technique moindre.

*Exemple:*

*C'est le cas des concassés de bétons qui sont utilisés comme matériau de remblai ou de sous fondation de route alors qu'ils pourraient, sous certaines conditions, être utilisés comme agrégats dans la production de nouveaux bétons. C'est également le cas des éléments en bois non traités qui sont utilisés dans la fabrication de panneaux à particules (MDF, OSB...).*

Cette filière de valorisation est fortement utilisée actuellement par de nombreux fabricants de matériaux de construction qui ont saisi l'avantage économique des matières premières secondaires recyclées:

- les fabricants de laine de verre utilisent de 30 à 80 % de verre recyclé dans leur processus de fabrication;
- les fabricants de verre cellulaire utilisent jusqu'à 60 % de verre recyclé dans leur processus de fabrication ;
- les fabricants de produits à base de plâtre utilisent de plus en plus du sulfogypse ou phosphogypse issus de la précipitation du sulfate de calcium dans différents procédés industriels...

Cette filière de valorisation présente l'avantage de réduire sensiblement la quantité de déchets à gérer et de réduire ceux-ci dans différents procédés industriels en tant que matière première secondaire. Cependant, ce type de valorisation ne permet souvent que de boucler une seule fois le cycle de vie.

### → Le recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement par lequel un élément ou un matériau de construction est introduit dans le processus de fabrication dont lui-même est issu, en remplacement d'une matière première. Le recyclage présente l'avantage de pouvoir boucler plusieurs fois la boucle du cycle de vie d'un matériau et de relancer le cycle suivant.

Remarque :

Dans le cadre d'une politique soutenable de gestion des ressources, ces filières de valorisation doivent être encouragées. Ce faisant, ces filières impliquent un travail en amont, lors de la conception, de la mise en œuvre et de la démolition du projet d'architecture.

#### 4.2.3.3. Objectifs d'une gestion des déchets sur chantier

##### → Préserver l'environnement.

Le recyclage des déchets permet une économie importante des ressources naturelles et limite la pollution par enfouissement ou décharges sauvages.

##### → Réaliser des économies pour le chantier.

Une bonne gestion des déchets sur chantier permet de réduire fortement les coûts d'évacuation des déchets.

##### → Réduire les nuisances du chantier.

Une bonne gestion des déchets permet de limiter l'impact visuel, les envols de déchets et poussières...

##### → Améliorer les conditions de travail sur le chantier.

Un chantier rangé, sans déchets laissés au sol permet une amélioration des conditions de travail, une réduction de la pénibilité des tâches et une augmentation des rendements.

#### 4.2.3.4. Pré-étude pour la gestion des déchets

##### → Analyse du site

L'analyse du site reprend les informations suivantes:

- **Accessibilité** : identification sur site, des contraintes relatives à l'évacuation des déchets et à l'approvisionnement en matériaux.
- **Environnement immédiat** : identification du voisinage et activités sensibles « aux nuisances de chantier » à intégrer dans l'organisation et la gestion du chantier
- **Organisation spatiale** : identification des zones de stockage potentiel, en fonction de l'accessibilité et de l'environnement immédiat

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### → Inventaire du bâtiment et de ses composants à démonter

L'inventaire du bâtiment existant et de ses composants reprend les informations suivantes :

Type de matériaux	Unité de mesure	Quantité à évacuer
Identification des différents matériaux ou composants en donnant une information sur la couleur, la matière, la dimension, la marque ou le modèle ainsi que l'état.  Permet d'établir les différentes fractions de déchets (inertes, métaux, bois,...).	Pce, mc, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>	A déterminer en kg ou en tonne  Permet de quantifier les coûts d'élimination ou de valorisation ainsi que les coûts liés au transport.

Idéalement, cet inventaire doit être accompagné d'annexes photographiques de manière à clairement identifier les éléments susceptibles d'être réutilisés sur chantier ou de susciter l'intérêt d'un acquéreur potentiel.

### → Evaluation des déchets générés par le chantier

L'entreprise de construction devra évaluer la quantité de déchets susceptibles d'être produits sur chantier (démontage et construction) par type de matériaux mis en œuvre ainsi que la quantité de déchets produits par la vie sur chantier (bureaux, cantine,...). Cette évaluation se fera par visite pour des travaux de démolition, sur plans pour des travaux d'extension ou d'agrandissement (construction neuve).

L'évaluation portera sur tous les types de déchets, leurs quantités et localisations.

Ces données peuvent également reprises sous un tableur Excel.

### → Identification des déchets directement réutilisables sur le chantier, des déchets recyclables ou valorisables et des déchets dits « ultimes »

#### → Analyse des différentes filières de recyclage ou de valorisation (les plus proches)

L'analyse des différentes filières de valorisation et d'élimination mettra en évidence:

- **La localisation des différentes filières**

De manière à limiter au maximum les impacts environnementaux et économiques liés au transport, on veillera à choisir les filières les plus proches du chantier.

- **La qualité requise du matériau à valoriser**

- **Le prix de la filière (par m<sup>3</sup> ou par tonne)**

A l'heure actuelle, certaines filières de valorisation rachètent les déchets de construction. C'est le cas notamment de toutes filières liées à la métallurgie.

- **Le devenir du déchet dans le cas d'une valorisation**

S'interroger sur le devenir du déchet dans le cas d'une valorisation permet d'établir une traçabilité de celui-ci.

L'analyse des filières donnera priorité aux filières de recyclage puis valorisation et ensuite élimination contrôlée.

#### → Estimation des frais de gestion

Aux frais liés à la filière de valorisation et au transport des déchets, il y a lieu d'évaluer les frais liés à la gestion même du chantier :

- Frais de manutention;

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



- Frais de main d'œuvre;
- Frais de location de trottoir et de voirie;
- Frais de location des containers.

### → Plan de gestion

Avant le début du chantier, l'entreprise de construction / rénovation établira un plan de gestion sur base des études préalables et des filières choisies:

Fractions	Quantité prévue	Container	Transport			Traitement		Total
	m <sup>3</sup>	pce (+/- 20 m <sup>3</sup> )	tonne	prix à la tonne	total	prix à la tonne	total	
<b>Gros-oeuvre</b>								
Inerte recyclable	8 849	443	12 157	105	1 276.485	9	109 413	1 385 898
Inerte non recyclable	80.2	4	192.9	105	20 254	50	9 645	29 899.5
Pierre blanche	192	10	461	0	0	-2 300	-1 060 300	-1 060 300
Pierre bleue	178	9	427.2	0	0	79.5	33 962.4	33 962.4
<b>Finitions extérieures</b>								
Cuivre	3	1	26.7	0	0	-1 300	-34 710	-34 710
Aluminium	0.7	1	1.8	0	0	-930	-1 627.5	-1 627.5
Verre	155	8	252	105	26 460	-17	-4 284	22 176
<b>Finitions intérieures</b>								
Laine de roche	263.4	13	65.9	105	6 919.5	120	7 908	14 827.5
Plaque de plâtre	33.6	2	53.8	105	5 644.8	23	1 236.5	6 881.3
Marbre	25.9	2	70	0	0	-473.5	-33 145	-33 145
Linoleum	48.2	3	57.8	105	6 069	50	2 890	8 959
Tapis-plain	43	2	77.4	0	0	0	0	0
Lambris bois	73.9	4	37	105	3 885	10	370	4 255
Carrelage	11	1	18.7	105	1 963.5	9	168.3	2 131.8
<b>Divers</b>								
Portes en bois	810	0	0	0	0	-103.4	-83 754	-83 754
Equipements sanitaires	732	0	0	0	0	-74	-54 168	-54 168
Luminaires	894	0	0	0	0	-50	-44 700	-44 700
Hydrants	54	0	0	0	0	-524	-28 296	-28 296
Chaudières	3	0	0	0	0	-1 850	-5 550	-5 550
Volets en bois	30	1	1.5	105	154.4	50	73.5	227.9

Exemple de plan de gestion - Source: S.Trachte

### 4.2.3.5. Gestion des déchets sur chantier

#### → Formation au tri sur chantier

Le tri sur chantier et la démolition sélective ne pourront être menées à bien que si tous ceux qui travaillent sur chantier sont convaincus de son utilité. Pour ce faire, il convient de :

#### • Former, sensibiliser et impliquer les ouvriers sur chantier

Les premiers acteurs de la construction/ rénovation / démolition sont les ouvriers présents sur le chantier. Or les opérations de tri des déchets ne sont pas encore totalement ancrées dans les habitudes et les pratiques de chantier. Il est donc indispensable de sensibiliser et inciter les ouvriers du chantier au recyclage, au nettoyage du chantier et au tri des déchets.

Les ouvriers sur chantier doivent également être formés à la démolition sélective et au tri. Pour ce faire une rapide forma-

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



tion sur chantier est indispensable, celle-ci doit reprendre les informations suivantes :

- Les types de fractions à trier et l'endroit d'entreposage;
- Le mode opératoire de démolition sélective;
- La signalétique des containers;

Les sous-traitants devront également être impliqués dans cette gestion et encouragés à trier les déchets.

### • Désigner un responsable «déchets» sur chantier

La désignation d'un responsable « déchets » est indispensable au bon fonctionnement du tri sur chantier. Ce responsable veillera en effet :

- au contrôle de la qualité du tri
- à la sensibilisation continue des ouvriers et sous-traitants ;
- à la correction éventuelle des erreurs de tri ;
- à la surveillance du niveau de remplissage des containers ;
- à la bonne évacuation et destination des déchets triés

### → Mise en place des moyens de tri sur chantier

La mise en place et la gestion des bennes de tri sur le chantier est un élément nécessaire à la bonne organisation du tri des déchets et par ce biais leur recyclage ou leur valorisation. On prévoira de préférence un container par fraction de déchets.

### • Mise en place des containers sur le chantier

L'analyse du site de chantier aura permis de dégager l'espace nécessaire à l'implantation des containers. Les bennes doivent être prévues en fonction de la typologie du chantier, des quantités de déchets produits et de l'espace disponible.

*Remarque : dans le cas des écoles, par mesure de sécurité, il est recommandé de ne pas implanter les bennes dans les espaces de jeux et de délassés sauf si les travaux de déconstruction sont réalisés lors des congés scolaires.*

Ceux-ci doivent être implantés dans une même zone et de manière suivante :

- à proximité des voiries afin de faciliter leur évacuation ;
- à proximité immédiate du chantier de manière à limiter les distances et les trajets sur chantiers ;
- facilement accessible pour l'ensemble des travailleurs;

En cas d'exiguïté ou de manque de place, on peut envisager les solutions suivantes :

- compartimentage des containers
- stockage provisoire à l'intérieur du bâtiment, à proximité d'une sortie – entreposage en big-bags ou en petit container
- transfert des déchets vers un centre de tri

*Remarque : plus le nombre de bennes est important, plus les déchets sont correctement valorisés ou recyclés (entendu que le tri soit réalisé)*

### • Conditionnement et signalisation des containers

Le conditionnement et la signalisation des containers doivent faciliter le tri et le travail de l'ensemble des ouvriers sur chantier. Le conditionnement doit être pensé en fonction des déchets à entreposer :

- fractions légères : grands containers
- fractions lourdes : big bags ou petits containers

Les bennes doivent être correctement signalisées afin d'éviter les erreurs de tri et inciter au tri. Les containers doivent porter des indications précises sur ce qu'ils peuvent ou ne peuvent pas contenir :

- signalisation sous forme de panneaux informatifs (texte écrit et pictogrammes)
- signalisation par collage des éléments acceptés dans le container

### • Protection des containers

Les containers doivent obligatoirement être protégés contre:

- les dépôts sauvages d'ordures (riverains, autres chantiers à proximité)
- les intempéries (vent, pluie,...)

On utilisera soit des bâches pour fermer les containers, ou des containers fermés.

→ **Contrôle et suivi de l'évacuation des déchets (y compris les déchets dangereux)**

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Images : Sylvie Rouche et Sophie Trachte

Il ne suffit pas de trier les déchets sur chantier, il faut que ceux-ci atteignent la destination et la filière pour lesquelles ils ont été triés.

C'est pourquoi l'auteur de projet et le maître d'ouvrage veilleront à ce que les documents et factures spécifiques au transport et au traitement des déchets soient suivis, contrôlés et conservés par l'entreprise.

L'entreprise devra conserver les données suivantes :

- la commande du transport : date, responsable, transporteur, type de bennes, déchet, destination
- le transport : date du transport, transporteur, mode de transport, type de benne, déchet, destination, montant de la facture
- le traitement : date de réception, installation, déchet, volume, type de traitement, montant de la facture
- la comptabilité : date, responsable, date de l'envoi pour paiement

L'accord de réception de fin de chantier nécessitera les preuves de contrôle et suivi de l'évacuation des déchets. L'entreprise remettra au maître d'ouvrage les documents et factures spécifiques au transport et au traitement des déchets.

### 4.2.3.6. Quelques destinations possibles pour les déchets de construction et démolition (à titre informatif)

#### → Classes des déchets de construction

##### • classe 1: déchets industriels dangereux

Les déchets dangereux sont des déchets qui représentent un danger spécifique pour l'homme ou l'environnement. Ceux-ci sont identifiés et listés et doivent être étiquetés.

Ces déchets doivent être collectés par un collecteur agréé et transportés par un transporteur agréé. Ils sont traités en centre d'enfouissement technique (CET) pour les déchets dangereux.

*Exemple: amiante, asphalte (contenant du goudron), certains bois traités, certains vernis et peintures, mastic synthétique, tout produit contenant des matières dangereuses, etc.*

Certains déchets dangereux spécifiques font l'objet d'une réglementation particulière. C'est le cas des PCB, des huiles usagées, de l'amiante, des piles et accumulateurs...

##### • classe 2: déchets ménagers et assimilés et déchets industriels non dangereux

Ces déchets sont des déchets non inertes et non dangereux. Ils sont collectés par l'entrepreneur sur chantier puis transportés par un transporteur agréé ou par l'entrepreneur vers un CET pour les déchets non dangereux. Ces déchets peuvent également partir vers des centres de recyclage.

*Exemple: déchets de bois non traité, ardoises fibrociment, certaines colles végétales, déchets d'emballages, isolants synthétiques et à base de fibres végétales ou animales, métaux ferreux et non ferreux...*

##### • classe 3: déchets inertes

La directive européenne 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999 définit les déchets inertes comme des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont collectés sur chantier par l'entrepreneur et transportés par un transporteur agréé ou l'entrepreneur vers un CET pour déchets inertes ou vers des centres de concassage ou de recyclage.

#### → Quelques destinations possibles

Chaque fraction ou type de déchet peut être dirigée vers des infrastructures différentes selon le niveau de propreté du



# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



1. Déchets de classe 1: peinture
2. Déchets de classe 1: amiante
3. Déchets de classe 2: plastiques
4. Déchets de classe 2: cartons et bois
5. Déchets de classe 3: inertes
6. Déchets de classe 3 : béton
7. Centre de concassage

Images : Sylvie Rouche et Catherine Massart

déchet, sa recyclabilité, la qualité du tri effectué sur chantier et les volontés de valorisation.

• **Les déchets INERTES** (classe 3) peuvent être dirigés vers :

- Plate-forme de valorisation de déchets inertes
- Centre de concassage
- Filières industrielles de décyclage – fabrication de remblais pour fondation
- Filières industrielles de recyclage – fabrication de nouveaux béton
- A éviter : mise en décharge de classe 3

• **Les déchets ménagers et assimilés et déchets industriels non dangereux** (classe 2) peuvent être dirigés vers :

- Centre de regroupement et de tri
- Filière de valorisation énergétique (centrales, cimenteries,...)
- Filières industrielles de recyclage (plastique, bois, métaux, verre...)
- Mise en décharge de classe 2

→ **Informations sur le coût de gestion des déchets – exemple belge**

Type de déchets	Elimination - 2000 euros/tonne	Elimination - 2007 euros/tonne	Recyclage - 2007 euros/tonne
Béton (classe 3)	12 à 50	14 à 30	
non armé - propre			0
non armé - sale			2.5 à 7
armé, propre, petit calibre			1.24 à 10
fortement armé, grand calibre			10.20 à 17.40
Maçonnerie (classe 3)	12 à 50	14 à 30	
débris propres			5.50 à 20
débris avec autres déchets			9.20 à 20
Asphalte	12 à 124	130 à 170	2 to 15 en fonction du calibre et si mélangé
Débris goudronneux	12 à 124	130 à 170	155 à 200
Béton cellulaire	12 à 124	130 à 170	65 à 180

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS

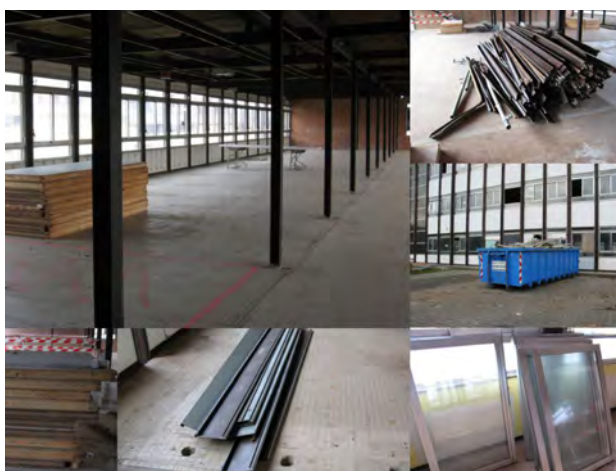


Plaque de plâtre	12 à 124	130 à 170	70 à 150
Bois	83 à 124		
bois classe A		14 à 30	0
bois classe B		130 à 170	13 à 30
Métaux (classe 2)			
fer	83 à 124	130 à 170	+ 120
aluminium	83 à 124	130 à 170	+1080
zinc	83 à 124	130 à 170	+1400
acier inox	83 à 124	130 à 170	+1600
Verre (classes 2 et 3)			
verre plat simple et propre	12 à 50	14 à 30	+ 15 à +45
verre mélangé	83 à 124	130 à 170	25 à 75
Plastiques (classe 2)			
PVC	83 à 124	130 à 170	0

Source: Bruxelles Environment - [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be)

### 4.2.3.7. Rénovation de l'école Riva Bella - le concept de réutilisation

L'école Riva Bella (Braine-l'Alleud, Belgique) est un bâtiment existant et semi-préfabriqué, construit en 1970 et rénové en 2010/2012. Ce projet est repris dans les projets exemplaires de la subtask A. L'objectif principal du projet de rénovation a été de construire un nouveau bâtiment par la réutilisation et la transformation du bâtiment existant: réutilisation de nombreux composants existants et des matériaux (la structure métallique, sol en béton, cloisons, revêtements de sol, des panneaux d'acier ...), gestion des déchets de démolition pendant les travaux de réaménagement de manière à recycler les déchets de chantier autant que possible, utiliser un maximum de composants et matériaux préfabriqués: éléments préfabriqués en bois isolés pour façade.



Images © Atelier Alain Richard AA-AR

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.3. Réduire, gérer et valoriser les déchets de fonctionnement (domestiques)



#### 4.3.1. La production de déchets dans les écoles

En Wallonie, la production annuelle de déchets ménagers a atteint un peu moins de 2 millions de tonnes en 2008, soit un ratio de 527,1 kg/hab/an en 2008. Les déchets produits dans une école peuvent être assimilés aux déchets domestiques. Ils sont principalement composés de:

- déchets de papier et de carton liés aux différentes activités en classe
- déchets domestiques liés aux repas et collations des enfants et des enseignants :
- déchets organiques, déchets plastiques, PMC, verre...
- déchets verts liés aux travaux d'entretien des espaces collectifs et espaces verts autour de l'école
- quelques petits déchets dangereux tels que piles, peintures, vernis,...

Chaque élève wallon produit, en moyenne, 14,3 kg de déchets liés à l'école par an (fournitures scolaires, cartouches, emballage de repas,...). Plus de 30 % du poids et 50 % du volume de notre poubelle sont constitués d'emballages.

#### 4.3.2. Réduire les déchets à la source – comportement à adopter

Réduire les déchets à l'école est principalement une affaire de comportement et de politique interne à l'établissement scolaire ; le concepteur ou l'architecte, a très peu de champs de manœuvre sur cette thématique lors d'un projet de rénovation.

Pour une bonne gestion des déchets, la prévention est une priorité mais il est évidemment impossible de ne pas produire de déchets du tout. L'étape suivante consiste à trier les déchets qui n'auront pas pu être évités, en vue de leur recyclage ou traitement.

##### 4.3.2.1. Politique de réduction des déchets, un choix pédagogique

Chaque école, chaque directeur ou directrice d'école, chaque enseignant peut s'engager dans une politique de réduction des déchets, notamment à travers les actions suivantes :

- action « journée sans déchets » avec une campagne de sensibilisation sur l'importance du tri et les possibilités de recyclage ;
- collation collective par classe, ce qui permet de réduire les déchets d'emballages ;
- conscientiser les enfants sur l'usage de gourdes, de boîtes à tartines, boîtes à fruit ou biscuit ;
- sensibiliser les enfants sur le tri des déchets en fin de repas (déchets organiques d'une part, déchets d'emballage d'autre part,...).
- mise en place au sein de l'école d'un compost pour tous les déchets organiques
- mise en place au sein de l'école d'un système de ramassage de petits déchets spéciaux (piles, cartouches d'imprimantes et de photocopieuses, batteries de GSM,...) et les faire parvenir dans les centres adéquats
- mise en place au sein de l'école d'une bourse au matériel scolaire ou d'un système d'achat groupé de matériel scolaire qui permet à l'école de choisir des produits en papier recyclé...

##### 4.3.2.2. Inventaire « déchets » dans chaque école

Si l'ensemble des acteurs d'une école souhaite se lancer dans une politique de réduction des déchets, il est intéressant d'évaluer la quantité de déchets produits à l'école sur une journée, une semaine ou un mois à l'aide d'un inventaire déchets. L'inventaire « déchets » permet à la fois de faire prendre conscience de la quantité de déchet produits à l'école pour une durée déterminée, d'identifier les types de déchets à éliminer et à diminuer en priorité.

Cet inventaire « déchet » peut être pris en charge pour quelques acteurs de l'école, idéalement un enseignant et sa classe.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS

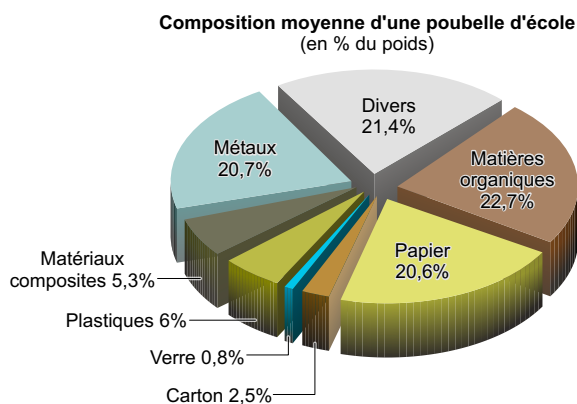


Image © pédagogie.ac-toulouse.fr

Les étapes de cet inventaire sont les suivantes :

- sélectionner plusieurs locaux types ou classes types ou représentatives
- retirer chaque jour les poubelles de tri de ces différents locaux
- répertorier, identifier et peser les déchets récoltés
- représenter les résultats de l'enquête et les diffuser dans l'école.
- imaginer et mettre sur pied une campagne de sensibilisation et des slogans incitant à produire moins de déchets.

*Remarque : cette activité nécessite une certaine prudence et un minimum de précautions dont notamment l'usage de gants pour la manipulation des déchets.*

### 4.3.3. Gérer et valoriser les déchets de fonctionnement

#### 4.3.3.1. Principes de gestion des déchets domestiques ou assimilés

Afin de bien trier les déchets de fonctionnement, les enfants, les enseignants et le personnel de l'école doivent

##### → Comprendre clairement les consignes de tri

Pour ce faire, il est important de privilégier une information directe et explicite, ne passant pas uniquement par la pose d'affiches ou de pancartes :

- une communication de proximité par l'intermédiaire des enseignants en classe et des surveillantes dans les cours de récréation, ou toute autre personne proche de la vie quotidienne des enfants à l'école (concierge, gardien,...) ;
- une signalétique sur tous les équipements ;

##### → Avoir à leur disposition des moyens encourageant le tri des déchets

Pour pouvoir correctement trier leurs déchets, les enfants, les enseignants et le personnel de l'école doivent avoir à leur disposition :

- un espace de tri intégré à la cuisine et au réfectoire ;
- un ensemble de poubelles de tri dans chaque cour de récréation ;
- un espace de tri dans chaque classe ou dans un espace commun à plusieurs classes ;
- un espace commun de stockage adapté aux besoins de la collectivité, bien entretenu et facile d'accès.

C'est à ce niveau que l'architecte a un rôle important à jouer, notamment au niveau de l'aménagement intérieur des classes, et des locaux annexes d'une école.

#### 4.3.3.2. Conteneurs ou bennes

Un matériel, clairement identifié, bien adapté et facilitant la tâche des trieurs et des collecteurs est un facteur d'encouragement au tri.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### → Type de conteneur ou poubelles

Le choix des conteneurs s'effectuera en fonction des paramètres suivants :

- adaptabilité à la taille et à la psychomotricité des enfants pour une commodité d'usage (hauteur, maniabilité,...)
- adaptabilité aux volumes de déchets et à la fréquence des collectes
- adaptabilité à la dimension du local ou de l'espace (réfectoire, cuisine, classe, cour de récréation)
- limitation des erreurs de tri
- facilité d'entretien

Il est à noter que les petits conteneurs sont plus facilement maniables et déplaçables que les grands conteneurs.

### → Signalétique

Chaque conteneur devra être clairement identifié selon le type de déchets collectés : couvercle de couleur identique à la couleur des sacs de collecte, affiche apposée sur le conteneur avec des consignes de tri et/ou possibilités et circuit de recyclage (notamment pour le carton, le verre, les plastiques...)



Image : Catherine Massart



Image : Catherine Massart



Image: Sylvie Rouche



Image : Sylvie Rouche

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.4. Réduire la production de déchets - La méthode BREEAM

Pour évaluer la question «Réduire la production de déchets », la méthode BREEAM propose différents critères repris essentiellement sous deux sections environnementales

- Section « **EAU** » avec un poids de 6% dans l'évaluation.

Elle a été présentée dans la section 3 «Réduire la consommation des ressources»

- Section « **DECHETS** » avec un poids de 7.5 % dans l'évaluation.

- WST 01: Gestion des déchets de construction
- WST 02: Granulats recyclés
- WST 03: Déchets de fonctionnement

C'est pourquoi, un aperçu de ces critères est présenté ci-après.

**Pour plus d'information :** <http://www.breeam.org/page.jsp?id=381>

#### 4.4.1. WST 01 - Gestion de déchets de construction

Cette question vise à promouvoir la gestion efficace des ressources par une gestion efficace et une réduction des déchets de construction. Cette question est **obligatoire** pour atteindre un score minimal et est divisé en deux parties: la gestion efficace des ressources de la construction (3 crédits) et la réaffectation des ressources des sites d'enfouissement (1 crédit)

Critères	Nombre de crédits	Explication																		
Gestion efficace des ressources de la construction	jusqu'à 3 crédits	<p>Non-hazardous construction waste (excluding demolition and excavation waste) generated by the building's design and construction meets or exceeds the following resource efficiency benchmarks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>1 credit:</b> for an amount of waste generated per 100m<sup>2</sup> (gross internal floor area) : ≤13.3 m<sup>3</sup> or ≤11.1 tons</li> <li>- <b>2 credits:</b> for an amount of waste generated per 100m<sup>2</sup> (gross internal floor area) : ≤7.5 m<sup>3</sup> or ≤6.5 tons</li> <li>- <b>3 credits:</b> for an amount of waste generated per 100m<sup>2</sup> (gross internal floor area) : ≤3.4 m<sup>3</sup> or ≤3.2 tons</li> <li>- <b>exemplary level :</b> for an amount of waste generated per 100m<sup>2</sup> (gross internal floor area): ≤1.6 m<sup>3</sup> or ≤1.9 tons</li> </ul> <p>Where existing buildings on the site will be demolished a pre-demolition audit of any existing buildings, structures or hard surfaces is completed to determine if, in the case of demolition, refurbishment/reuse is feasible and, if not, to maximise the recovery of material from demolition for subsequent high-grade/value applications. The audit must be referenced in the SWMP and cover:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification of the key refurbishment/demolition materials.</li> <li>- Potential applications and any related issues for the reuse and recycling of the key refurbishment and demolition materials</li> </ul>																		
Valorisation des ressources provenant des centres d'enfouissement	1 crédit	<p>The following percentages of non-hazardous construction and demolition waste (where applicable) generated by the project have been diverted from landfill:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>BREEAM credits</th> <th>Type of waste</th> <th>Volume</th> <th>Tonnage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">One credit</td> <td>Non demolition</td> <td>70%</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>Demolition</td> <td>80%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Exemplary level</td> <td>Non demolition</td> <td>85%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Demolition</td> <td>85%</td> <td>95%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Waste materials will be sorted into separate key waste groups (according to the waste streams generated by the scope of the works) either onsite or offsite through a licensed contractor for recovery.</p>	BREEAM credits	Type of waste	Volume	Tonnage	One credit	Non demolition	70%	80%	Demolition	80%	90%	Exemplary level	Non demolition	85%	90%	Demolition	85%	95%
BREEAM credits	Type of waste	Volume	Tonnage																	
One credit	Non demolition	70%	80%																	
	Demolition	80%	90%																	
Exemplary level	Non demolition	85%	90%																	
	Demolition	85%	95%																	

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



### 4.4.2. WST 02 - Granulats recyclés

Cette question vise à reconnaître et à encourager l'utilisation de granulats recyclés et secondaires, réduisant ainsi la demande de matière vierge et l'optimisant l'utilisation de matériaux de construction. Cette question n'est pas obligatoire pour atteindre un score minimal.

Critères	Nombre de crédits	Explication																											
Granulats recyclés	1 crédit	<p>The total amount of recycled and/or secondary aggregate specified is greater than 25% (by weight or volume) of the total high-grade aggregate specified for the development.</p> <p>To contribute to the total amount, the percentage of high-grade aggregate specified per application (where present) that is recycled and/or secondary aggregate, must meet the following minimum levels (by weight or volume):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Application</th> <th>Min. % One credit</th> <th>Min. % Exemplary performance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Structural frame</td> <td>25%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Floor slabs including ground floor slabs</td> <td>25%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Bitumen or hydraulically bound base, binder, and surface courses for paved areas and roads</td> <td>50%</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>Concrete road surfaces</td> <td>25%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Pipe bedding</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Building foundations</td> <td>25%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Granular fill and capping (see Compliance notes)</td> <td>75%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Gravel landscaping</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table> <p>The aggregates are EITHER:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtained on site</li> <li>- Obtained from waste processing site(s) within a 30km radius of the site; the source will be principally from construction, demolition and excavation waste (CD&amp;E) – this includes road plannings</li> <li>- Secondary aggregates obtained from a non-construction post-consumer or post-industrial by-product source (</li> </ul>	Application	Min. % One credit	Min. % Exemplary performance	Structural frame	25%	50%	Floor slabs including ground floor slabs	25%	50%	Bitumen or hydraulically bound base, binder, and surface courses for paved areas and roads	50%	75%	Concrete road surfaces	25%	50%	Pipe bedding	50%	100%	Building foundations	25%	50%	Granular fill and capping (see Compliance notes)	75%	100%	Gravel landscaping	100%	100%
Application	Min. % One credit	Min. % Exemplary performance																											
Structural frame	25%	50%																											
Floor slabs including ground floor slabs	25%	50%																											
Bitumen or hydraulically bound base, binder, and surface courses for paved areas and roads	50%	75%																											
Concrete road surfaces	25%	50%																											
Pipe bedding	50%	100%																											
Building foundations	25%	50%																											
Granular fill and capping (see Compliance notes)	75%	100%																											
Gravel landscaping	100%	100%																											

### 4.4.3. WST 03 - Déchets de fonctionnement

Cette question vise à reconnaître et encourager la mise en place d'espaces de stockage pour le tri des déchets de fonctionnement qui sont recyclables, de sorte que ces déchets puissent être valorisés et non mis en décharge ou incinérés. Cette question est obligatoire pour atteindre un score minimal.

# RENOVATION SOUTENABLE DES BÂTIMENTS SCOLAIRES

## 4. REDUIRE LA PRODUCTION DE DECHETS



Critères	Nombre de crédits	Explication
Déchets de fonctionnement	1 crédit	<p>There is dedicated space(s) to cater for the segregation and storage of operational recyclable waste volumes generated by the assessed building/unit, its occupant(s) and activities. The dedicated space(s) must be:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clearly labelled, to assist with segregation, storage and collection of the recyclable waste streams</li> <li>- Accessible to building occupants / facilities operators for the deposit of materials and collections by waste management contractors</li> <li>- Of a capacity appropriate to the building type, size, number of units (if relevant) and predicted volumes of waste that will arise from daily/weekly operational activities and occupancy rates.</li> </ul> <p>Where the consistent generation in volume of the appropriate operational waste streams is likely to exist, e.g. large amounts of packaging or compostable waste generated by the building's use and operation, the following facilities are provided as part of its waste management strategy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Static waste compactor(s) or baler(s); situated in a service area or dedicated waste management space.</li> <li>- Vessel(s) for composting suitable organic waste resulting from the building's daily operation and use OR adequate space(s) for storing segregated food waste and compostable organic material prior to collection and delivery to an alternative composting facility.</li> <li>- Where organic waste is to be stored/composted on site, a water outlet is provided adjacent to or within the facility for cleaning and hygiene purposes.</li> </ul> <p>Especially for school buildings: there is a school recycling policy and an outline of the procedures that are in operation or that will be in place when the building is complete. As a minimum, the policy should cover:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paper and magazines, cardboard, plastics, metals, printer &amp; toner cartridges.</li> <li>- Where composting facilities are provided, the policy must also cover the collection of the compost unless the compost can be used on site.</li> </ul>



# RENOVATION SOUTENABLE DES BATIMENTS SCOLAIRES

## REFERENCES







### 1. Publications et ouvrages

#### 1.1. Architecture durable (construction et rénovation)

- A.LIEBARD, A. DEHERDE, «**Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatique** », Editions Observ'ER, 2005, Paris, France
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), « **Guide pour la construction et la rénovation de petits bâtiments** », éditions IBGE, 2009, Bruxelles, Belgique
- Ademe, « **La qualité environnementale des Bâtiments, manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment** », Ademe éditions, 2002, Paris, France
- S.NIBEL, D. de VALICOURT, « **Programmer, concevoir, réaliser et exploiter un bâtiment durable, Mettre en œuvre un système de management d'opération : mode d'emploi** », Guide Bâtir le développement durable, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), décembre 2012
- M.MAZALTO, «**Architecture scolaire et réussite éducative**», éditions Fabert, Paris, 2007
- «**Naar een inspirerende leeromgeving, instrument voor duurzame scholenbouw**», publication of GO!Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap and Agentschap voor Infrastructuur in het Onderwijs (AGION), 2010

#### 1.2. Confort et qualité de vie

- Drs S.et P. DEOUX, « **Le Guide de l'Habitat sain, les effets sur la santé de chaque élément du bâtiment** », éditions Medieco, 2ème édition, Andorre, 2004,
- S. DEOUX, «**Bâtir pour la Santé des Enfants**», éditions Medieco, Andorre, 2010
- DEOUX, COEUDEVEZ, «**Bâtiments, Santé, le tour des labels: ajouter l'humain aux performances environnementales et énergétiques**», éditions MEDIECO, Andorra, 2011
- A.ROULET, «**Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments**» Presses Polytechniques et universitaires romandes, Espagne, 2004
- **Recenser, prévenir et limiter les risques sanitaires environnementaux dans les bâtiments accueillant des enfants**, Guide à l'usage des collectivités territoriales, Ministère de l'Ecologie, du développement et de l'aménagement durables, downloadable from the website [www.education.gouv.fr](http://www.education.gouv.fr)
- Francesca R.D'Ambrosio Alfano, «**Indoor Environment and Energy Efficiency in Schools, part 1 Principles**» Guidebook n°12, Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations REHVA, Brussels,
- K. DE SCHRIJVER, G. TILBORGHES, D. WILDEMEERSCH «**Wonen and gezondheid**», Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Gezondheidszorg, Afdeling Preventieve en Sociale Gezondheidszorg, 2003, Bruxelles, Belgique
- **WHO Guidelines for Indoor Air Quality, Selected pollutants**, report of WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office,2010, downloadable from the website <http://www.euro.who.int/fr/what-we-publish/abstracts/who-guidelines-for-indoor-air-quality-selected-pollutants>
- **WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould**,report of WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office,2010, downloadable from the website <http://www.euro.who.int/fr/what-we-publish/abstracts/who-guidelines-for-indoor-air-quality-selected-pollutants>
- AFSSE (agence française de sécurité sanitaire environnementale), « **Impacts sanitaires du bruit – Etat des lieux, indicateurs bruit-santé** », novembre 2004, downloadable from the website [www.sante.gouv.fr](http://www.sante.gouv.fr)
- Ch. SIMONIN-ADAM, «**Acoustique et réhabilitation, améliorer le confort acoustique dans l'habitat existant**», éditions Eyrolles, 3ème tirage, 2006, Paris, France
- JL. BEAUMIER, «**L'isolation phonique écologique, matériaux et mise en œuvre**», éditions Terre Vivante, 2006, Mens, France
- «**Concilier efficacité énergétique et acoustique dans le bâtiment**» Guide du CSTB, octobre 2010
- F.SIMON, JM HAUGLUSTAINE, «**La conception globale de l'enveloppe et l'énergie, guide pratique pour les architectes**», Ministère de la Région Wallonne, 2006, Namur, Belgique
- «**Energiezorg in scholen**», , publication of Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming Stafdienst
- F.SIMON, JM HAUGLUSTAINE, «**La rénovation et l'énergie, guide pratique pour les architectes**», Ministère de la Région Wallonne, 2006, Namur, Belgique



- F.SIMON, JM HAUGLUSTAINE, «**La fenêtre et la gestion de l'énergie, guide pratique pour les architectes**», Ministère de la Région Wallonne, 2002, Namur, Belgique
- B. PIDERIT, «**Daylighting design strategies for visual comfort in Chilean classrooms**», PhD Thesis, juillet 2011, University Catholic of Louvain la Neuve
- «**Isolatie en ventilatie in scholen**» publication of Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming Stafdienst
- «**Designing Quality Learning Spaces: Ventilation & Indoor Air Quality**», Developed by BRANZ Ltd for the Ministry of Education, downloadable from the website [www.minedu.govt.nz](http://www.minedu.govt.nz)
- «**Designing Quality Learning Spaces: Heating & Insulation**», Developed by BRANZ Ltd for the Ministry of Education, downloadable from the website [www.minedu.govt.nz](http://www.minedu.govt.nz)
- A.DEHERDE, S. REITER, «**L'éclairage naturel des bâtiments**», Ministère de la Région Wallonne, 2001, Namur, Belgique
- **Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings, Achieving 30% Energy Savings, Toward a Net Zero Energy Building**, ASHRAE Design Guide, ASHRAE, 2008
- R. JOBERT, «**Perméabilité à l'air de l'enveloppe** », Guide Bâtir le développement durable, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), septembre 2012
- S. FARKH, «**Les ponts thermiques dans le bâtiment** », Guide Bâtir le développement durable, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), septembre 2009
- LABERGE, «**Mieux vivre ensemble dans la cour d'école**», Montmagny, Direction de la santé publique, de la planification et de l'évaluation, Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Chaudière-Appalaches, 1999, Canada
- «**Vergroening van de schoolomgeving, Technische handleiding voor een groene school**», publication of WWF, downloadable from the website [www.wwf.be](http://www.wwf.be)
- «**Plans de déplacements scolaires**», Guide à la réalisation, Bruxelles Mobilité, Direction Stratégie, avec les a.s.b.l. GREEN et COREN

### 1.3. Techniques et efficacité énergétique

- «**Conception énergétique d'un bâtiment tertiaire, concevoir et rénover un bâtiment tertiaire**», Les Cahiers de l'Energie, Région Wallonne DGOA, juin 2004
- «**School Verwarming**», publication of Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming Stafdienst
- «**School Verlichting**», publication of Vlaamse overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, Departement Onderwijs en Vorming Stafdienst
- «**Code de Bonne Pratique en Eclairage Intérieur**, Document de référence en complément à la norme NBN EN 12464-1», Institut Belge de l'Eclairage
- «**The WaY TowarDS YouR CoOL SchOOl, A Guideline To High Performance School Renovations In Europe**», schoolventcool brochure, downloadable from the website <http://www.schoolventcool.eu>
- «**Ventilation performante dans les écoles, guide à la conception**», Centre technique des industries aérodynamiques et thermiques CETIAT, downloadable from the website [www.cetiat.fr](http://www.cetiat.fr)
- «**Guide pratique sur la modulation des systèmes de ventilation**», Centre technique des industries aérodynamiques et thermiques CETIAT, downloadable from the website [www.cetiat.fr](http://www.cetiat.fr)
- A. FILLOUX, «**Intégrer les énergies renouvelables, Comment choisir, intégrer et exploiter les systèmes utilisant les énergies renouvelables?**», Guide Bâtir le développement durable, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), août 2008
- F.ANTONY, Ch. DURSCHNER, KH. REMMERS, «**Le Photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations**», éditions Observ'ER en association avec Solarpraxis AG, 2006, Paris, France
- F.A. PEUSER, KH REMMERS, M. SCHNAUSS, «**Installations solaires thermiques, conception et mise en oeuvre**», éditions Observ'ER en association avec Solarpraxis AG, 2005, Paris, France
- B.BERANGER, «**Les pompes à chaleur**» 2ème édition, éditions Eyrolles, 2008, Paris, France

### 1.4. Eau et ressources naturelles

- M.VAN PETEGHEM, L.DE BACKER, «**Water wegwijzer voor architecten, een Handleiding voor duurzaam watergebruik in en om de particuliere woning**» Vlaamse Milieumaatschappij, 2000, Belgique



- B.DE COUVELLO, «**La gestion durable de l'eau**», Guide Bâtir le développement durable, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), janvier 2010
- CAGT, «**Guide de gestion des eaux pluviales et de ruissellement**», Communauté d'Agglomération du Grand Toulouse, Service Assainissement, 2006, Toulouse, France
- S. CABRIT-LECLERC, «**Fosse septique, roseaux, bambous? Traiter écologiquement ses eaux usées**», éditions Terre Vivante, 2008, Mens, France
- KUR, «**L'habitat écologique, quels matériaux choisir ?**», Terre Vivante, Mens, 2005
- HEGGER, AUCH-SCHWELK, FUCHS, ROSENKRANZ, «**Construire, Atlas des matériaux**», éditions DETAIL, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2009
- **Passivhaus-Bauteilkatalog, Details for Passive Houses: Ökologisch bewertete Konstruktionen, A Catalogue of Ecologically Rated Constructions**, publication de l'Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie, éditions Springer-Verlag en 2008
- MENGONI JC., MENGONI M., «**Matériaux écologiques d'intérieur, aménagement, finitions, décorations**», Terre Vivante, Mens, 2009
- «**Leitfaden für nachhaltiges Bauen und Renovieren**», Centre de Ressources des Technologies pour l'Environnement(CRTE), Luxembourg, 2008
- S.TRACHTE, «**Matériau, matière d'Architecture Soutenable, Choix responsable des matériaux de construction, vers une conception globale de l'architecture soutenable**» Thesis submitted in June 2012, LOCI, Catholic University of Louvain la Neuve
- S. TRACHTE, A. DE HERDE, «**Choix des matériaux - Ecobilan de parois**», Publication developed under the direction of André De Herde for the Public Service of Wallonie - Department of Energy, from 2008 to 2010 For download : <http://wallonie.energie.be>

### 1.5. Déchets

- The European Environment, State and outlook 2010, Material, resource and waste, EEA publication, available on the website [www.eea.europa.eu/.../europe/material-resources](http://www.eea.europa.eu/.../europe/material-resources)
- S.TRACHTE, «**Gestion des déchets de chantier, opportunité pour la Région de Bruxelles-Capitale**» Master thesis, september 2003, Université Catholique de Louvain la Neuve, Ecole Polytechnique de Lausanne
- S.BREELS, «**La gestion des déchets dans le secteur de la construction : enjeux de la conception architecturale, Proposition d'étude pour la réduction de la production des déchets en phase de rénovation**», Master thesis, Université Catholique de Louvain la Neuve, septembre 2005
- HUYGEN, «**La poubelle et l'architecte, vers le réemploi des matériaux**», L'impensé chez ACTES SUD, 2008
- **Guide de gestion des déchets de construction et de démolition**, version décembre 2000 édité par l'IBGE (Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement), éditeur responsable: JP Hannequart, Bruxelles, 2000

## 2. Sites internet

### 2.1. Sites internet sur l'architecture durable (construction et rénovation)

- Energie + - Conception et rénovation de Bâtiments Tertiaires : [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)
- Brussels Environment : <http://www.ibgebim.be>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) : <http://www2.ademe.fr>
- Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) <http://www.cstc.be>
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) : <http://www.cstb.fr>
- Centre techniques des matériaux naturels de construction: <http://www.ctmnc.fr>
- Organisme mondial de la santé (OMS) : <http://www.who.int>
- Resource Center for Environmental Technologies (CRTE - Tudor): <http://www.crte.lu>
- Vlaams Instituut voor bio-ecologisch bouwen en wonen (VIBE) : <http://www.vibe.be>
- Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO): <http://www.vito.be>

### 2.2. Techniques et efficacité énergétique

- Energie + - Conception et rénovation de Bâtiments Tertiaires : [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)



- Brussels Environment : <http://www.ibgebim.be>
- Energy Portal in Wallonia: [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)
- AIE SHC PROGRAM task 40 «Net Zero Energy Solar Buildings» : <http://task40.iea-shc.org>
- AIE SHC PROGRAM task 50 «Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings» : <http://task50.iea-shc.org>

### 2.3. Certifications environnementales

- BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) - <http://www.breeam.org>
- LEED (Leadership Energy Environment Design) - <http://www.usgbc.org/leed>
- DGNB (German Sustainable Building Certificate) - <http://www.dgnb.de>
- TOTAL QUALITY BUILDING (Austrian Sustainable Building Council) - [https://www.oegnb.net/zertifizierte\\_projekte.htm](https://www.oegnb.net/zertifizierte_projekte.htm)
- GREENSTAR (Green Building Council of Australia)- [www.gbca.org.au](http://www.gbca.org.au)
- VALIDEO - [www.valideo.org](http://www.valideo.org)

### 2.4. Labels environnementaux

- Ecolabel européen: <http://www.ecolabel.be>
- Label Natureplus : <http://www.natureplus.org> • Label NF Environnement: <http://www.marque-nf.com>
- Label Der Blaue Engel : <http://www.blauer-engel.de>
- Label Milieukeur: <http://www.milieukeur.nl>
- Label Nordic Swan: <http://www.svanen.nu/eng>
- Label ÖkoPlus: <http://www.oekoplus.de>
- Label FSC (Forest Stewardship Council): <http://www.fsc.org>
- Label PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes): <http://www.pefc.org>
- Label GUT: <http://www.gut-ev.de>
- Infolabel - Labels Guide des labels for a responsible consumption: <http://www.infolabel.be>

### 2.5. Evaluation environnementale

- Database ECOINVENT (Swiss Centre for Life Cycle Inventories): <http://www.ecoinvent.ch>
- Classification NIBE (Nederland Instituut voor Biologische en Ecologie): <http://www.nibe.org>
- Database KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der Offentlichen Bauherren): <http://www.bbl.admin.ch/kbob>
- Database ECOSOFT: <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm>
- Tool Ecobau (Durabilité et construction publique): <http://www.eco-bau.ch>
- Software ECO-BAT: <http://www.ecobat.ch>
- Catalogue d'éléments de construction : <http://www.catalogueconstruction.ch>