

# CONSTRUIRE ET RÉNOVER DE FAÇON RESPONSABLE DANS LES ALPES

## MODULE 2 : L'ÉNERGIE ET LE BÂTIMENT

climalp, une campagne d'information  
de la CIPRA



CIPRA

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT</b>	<b>4</b>
2.1	LES STANDARDS DANS LE BÂTI	
2.2	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES BÂTIMENTS NEUFS	7
2.3	LA RÉNOVATION EFFICIENTE SUR LE PLAN ÉNERGÉTIQUE	10
2.4	PRÉJUGÉS À L'ENCONTRE DE LA CONSTRUCTION EFFICIENTE SUR LE PLAN ÉNERGÉTIQUE	13
<b>3</b>	<b>L'ÉNERGIE GRISE : UN INDICATEUR ÉCOLOGIQUE IMPORTANT</b>	<b>16</b>
3.1	LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET LEUR ÉNERGIE GRISE	16
3.2	ÉLÉMENTS DU BÂTIMENT	18
<b>4</b>	<b>ISOLATION : AUSSI ÉPAIS QU'ÉCOLOGIQUE</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTI</b>	<b>21</b>
5.1	CHAUFFAGE ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	21
5.2	FOCUS SUR LE BOIS-ÉNERGIE	22
5.3	PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	24
<b>6</b>	<b>UNE CONSOMMATION INTELLIGENTE DE L'ÉNERGIE</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>NOTES</b>	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>SOURCES ET LIENS</b>	<b>28</b>

## Mentions légales

Editeur : CIPRA International,  
Im Bretscha 22, 9494 Schaan,  
Liechtenstein  
T +423 237 53 53, F +423 237 53 54  
www.cipra.org

## climalp en bref

climalp est une campagne d'information lancée par la CIPRA afin de promouvoir les constructions et les rénovations efficaces sur le plan énergétique, reposant sur l'utilisation de bois régional dans l'espace alpin. La campagne climalp est financée par la Principauté du Liechtenstein, la fondation Karl-Mayer (Vaduz), et la fondation Assistance (Triesenberg).

## Construire et rénover de façon responsable dans les Alpes

Le rapport de fond « Construire et rénover de façon responsable dans les Alpes » est décliné en 5 modules :

- Module 1 : Pourquoi la construction responsable
- Module 2 : L'énergie et le bâtiment
- Module 3 : Matériaux écologiques
- Module 4 : Sobriété et aménagement du territoire
- Module 5 : Situation dans les pays alpins

Tous les modules sont téléchargeables en format pdf et en quatre langues (français, italien, allemand, slovène) sur : [www.cipra.org/climalp](http://www.cipra.org/climalp)

Auteurs : Nicole Sperzel (Ecriture 2004),  
Christoph Sutter, Harald Gmeiner  
Carole Piton (Actualisation 2013)  
Traduction : Julien Sénamaud  
Relecture : Claire Simon, Marie Billet  
Design : IDconnect AG  
Mise en page : Carole Piton  
Photos couverture : Alexandre Mignotte;  
Heinz Heiss, Franz Schultze, Zeitenspiegel;  
CIPRA; Nasa Goddard.  
Avril 2014

# INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment consomme de nombreuses ressources : sol, matériaux de construction, énergie pour les travaux, l'utilisation et le recyclage des édifices. Dans les Alpes, ces ressources sont limitées, mais il est possible de construire et de rénover de façon plus responsable : prendre en compte les enjeux économiques et sociaux, utiliser des matériaux écologiques et renouvelables, se passer de chauffage grâce à l'efficacité énergétique ou utiliser des énergies renouvelables.

Avec son projet climalp, la CIPRA poursuit depuis 10 ans une campagne d'information sur la construction énergétiquement efficace et utilisant des matériaux écologiques et locaux. En 2014, elle actualise son rapport de fond « Construire et rénover de façon responsable dans les Alpes », divisé en plusieurs modules. Sobriété, efficacité énergétique, matériaux écologiques et aménagement du territoire sont abordés et illustrés par des exemples alpins. L'objectif de la CIPRA est de montrer à un grand public mais aussi aux acteurs concernés par le secteur du bâtiment (maîtres d'ouvrage, financeurs, experts, étudiants...) comment ce secteur peut suivre une voie en accord avec les principes du développement soutenable. On n'a qu'une seule chance de bien construire ou rénover un bâtiment ! Les décisions prises au début d'un projet doivent être les plus responsables possibles, pour limiter notre impact sur l'environnement et assurer le bien-être des occupants.

Ce module, deuxième de la série, s'intéresse à toutes les **questions énergétiques dans le secteur du bâtiment**. Selon les estimations actuelles, la moitié de l'énergie mondiale est consacrée à la construction, à l'utilisation et au recyclage des bâtiments. On consomme dans les Alpes 10 % d'énergie de plus que dans le reste de l'Europe, principalement à cause du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire. Les principales sources d'énergie sont actuellement le fioul et le gaz naturel, les plus grands gaspilleurs sont les bâtiments anciens mal isolés. Le secteur du bâtiment offre donc un énorme potentiel de réduction de la consommation d'énergie fossile dans les Alpes : choix de techniques et de matériaux de construction sobres en énergie, réduction des besoins en chauffage et en climatisation grâce à une rénovation thermique, conception bioclimatique et efficacité énergétique, adoption de systèmes de chauffage utilisant les énergies renouvelables, optimisation de l'utilisation du bâtiment. Les économies d'énergie ainsi réalisées permettent de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi de limiter la facture énergétique.

## Une transition énergétique dans le bâtiment

L'utilisation rationnelle de l'énergie doit permettre d'assurer le confort nécessaire dans les bâtiments, quelle que soit leur destination (bâtiments résidentiels, professionnels ou autres). Elle passe par :

**La sobriété énergétique et la limitation de la consommation** : la taille des bâtiments, la façon dont est utilisée l'énergie (lumière, chauffage, climatisation) peuvent être revues à la baisse. De plus, les travaux de construction et les matériaux doivent avoir une consommation énergétique faible (énergie grise).

**L'efficacité énergétique** : elle vise à limiter les pertes inutiles pour un résultat identique. Pour les bâtiments neufs, elle passe par une bonne conception du bâtiment et du système de chauffage. Pour les bâtiments anciens, elle passe par des travaux d'isolation.

**L'utilisation d'énergies renouvelables** : les besoins restants en chauffage, en eau chaude sanitaire et en électricité peuvent être couverts par les énergies renouvelables : chauffe-eau solaire, chauffage au bois, panneaux photovoltaïques, mini-éoliennes...

# L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

## 2.1 LES STANDARDS DANS LE BÂTI

L'Europe, qui abrite environ 200 millions de logements datant d'avant 2000 (secteur en croissance continue depuis l'après-guerre) veut diminuer la consommation énergétique globale et ses émissions de CO<sub>2</sub> de 20 % d'ici 2020 tout en augmentant la part des énergies renouvelables de 20 %. Elle mise en particulier sur le secteur des bâtiments. Une directive 2002/91/CE sur la performance énergétique des bâtiments ou EPBD, actualisée en 2010 (2010/31/UE), est en cours de transposition dans les droits nationaux. Les bâtiments construits après 2020 devront répondre à la norme «nearly zero energy building», les bâtiments publics dès fin 2018. Chaque pays européen est en train de définir sa propre définition du «nearly zero energy building».

On distingue différents standards en matière de performance énergétique des bâtiments neufs ou rénovés. Ils répondent à des définitions plus ou moins strictes, sont en partie certifiés ou bénéficient d'un label enregistré. Voici une présentation des désignations les plus courantes dans les pays alpins.

### 2.1.1 LE BÂTIMENT BASSE CONSOMMATION (BBC)

Le terme de bâtiment basse consommation énergétique désigne une construction neuve ou rénovée dont la consommation énergétique est inférieure à des valeurs fixées par la législation. Ce terme s'applique donc aux édifices dont les besoins énergétiques sont très faibles tant pour le chauffage que pour la production d'eau chaude sanitaire. Ces bâtiments ont besoin d'une enveloppe bien isolée, de vitrages isolants et d'un système de ventilation contrôlée à simple ou double flux (cette dernière permettant de récupérer la chaleur). Dans un bâtiment BBC, un système de chauffage conventionnel (chaudière ou chauffage à distance avec distribution de la chaleur par des radiateurs) reste cependant nécessaire. Le terme de « bâtiments basse consommation » n'est toutefois pas protégé par la loi. Il fait l'objet de définitions différentes selon les pays. En Suisse, par exemple, ce terme désigne les édifices construits selon la norme Minergie et aucune installation de ventilation n'est requise. En Allemagne, les BBC sont des bâtiments qui présentent un indice de dépense énergétique de 40-70 kWh/m<sup>2</sup>a (Kilowattheures par mètre carré de surface par an). En France, un label officiel a été créé en 2007 : « Bâtiment de basse consommation (énergétique) (BBC 2005) », avec un objectif de consommation maximale en énergie primaire fixé à 50 kWh/m<sup>2</sup>a pour les constructions résidentielles, à moduler selon la zone climatique et l'altitude. Au 1er juillet 2013, 147 621 logements collectifs et 43 720 logements individuels étaient certifiés BBC Effinergie en France.

En Italie, le bâtiment basse consommation correspond aux classes CasaClima A, B et C.

### 2.1.2 LE BÂTIMENT PASSIF

Le bâtiment passif est une suite logique du bâtiment basse consommation, dans lequel le confort thermique est assuré par des mesures passives. On n'y a pas apporté d'inventions « révolutionnaires », mais cherché de nouvelles combinaisons pour les matériaux de construction et les installations techniques.

Les trois éléments suivants y sont combinés :

1. Excellente isolation thermique de toute l'enveloppe du bâtiment, y compris les fenêtres
2. Optimisation des gains d'énergie solaire passive par de grands vitrages au sud
3. Ventilation contrôlée avec récupération de chaleur (double flux)

Un bâtiment passif n'est pas chauffé par un chauffage, mais par l'utilisation « passive » de la chaleur du rayonnement solaire à travers les fenêtres, et par la chaleur dégagée par les appareils (appareils ménagers, ordinateurs, etc.) et les occupants. L'air frais est préchauffé par un système de récupération de chaleur, c'est-à-dire que la chaleur de l'air vicié évacué hors des pièces est transmise à l'air frais au moyen d'un échangeur de chaleur.

La température à l'intérieur d'une maison passive doit également rester agréable en été grâce à l'isolation. Comme dans toutes les maisons, les fenêtres doivent en outre être ombragées par un balcon ou des stores.

Le besoin total spécifique en énergie primaire par mètre carré de surface habitable et par année ne doit pas dépasser 120 kWh/m<sup>2</sup>a (pour le chauffage des pièces, la production d'eau chaude sanitaire et la consommation d'électricité du ménage) dans une maison passive européenne. Le terme de « maison passive » n'est pas protégé. Néanmoins, le Passivhaus-Institut à Darmstadt (D) a établi un système de certification (Passivhaus Projektierungspaket PHPP 2004) qui définit les standards de la maison passive.

**Tableau 1**  
Éléments de construction et valeurs limites dans un bâtiment passif (selon PHPP)

Isolation	Valeur $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Fenêtres	Valeur $U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ Valeur $g \leq 0,50$
Étanchéité à l'air	Valeur caractéristique pour l'essai de pression $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Aspects généraux	Exécution sans ponts thermiques
	Système très performant de récupération de chaleur intégré à l'aération, à faible consommation d'électricité
	Pertes de chaleur minimales lors de la production et de la distribution de l'eau chaude
	Exploitation hautement performante du courant électrique ménager
Besoins énergétiques pour le chauffage	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Charge de chauffage	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
Indice énergétique pour l'énergie finale	$\leq 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Indice énergétique pour l'énergie primaire	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

### 2.1.3

#### LA MAISON À ABSORPTION SOLAIRE DIRECTE

Une maison à absorption solaire directe est « chauffée » exclusivement par sa façade sud, presque entièrement vitrée, et par les gains de chaleur interne. L'énergie solaire rayonnant dans les pièces est accumulée dans un sol sombre, dans les parois de brique silico-calcaire et dans la dalle en bois, puis restituée à l'air ambiant. La capacité d'accumulation de la substance bâtie suffisant à chauffer les pièces, on peut aussi renoncer au système de ventilation nécessaire dans les maisons passives. Le besoin en chaleur de chauffage de la maison à absorption solaire directe est nul.

L'aération des pièces se fait de manière « conventionnelle », c'est-à-dire en ouvrant les fenêtres. En hiver (de novembre à février), une aération efficace et rapide est recommandée. En été, les grands vitrages peuvent être suffisamment ombragés, ce qui permet de conserver une température agréable à l'intérieur.

#### 2.1.4 LE STANDARD MINERGIE®

Il s'agit d'un label suisse protégé, introduit en 1998. Le principe repose sur les mêmes éléments que pour la maison passive, le but n'étant toutefois pas de renoncer à un système de chauffage conventionnel. Si une ventilation contrôlée est indispensable, les épaisseurs d'isolation et les exigences sur le plan de l'étanchéité à l'air sont cependant moindres que pour la maison passive allemande. Il est impératif de respecter un certain « indice de dépense énergétique pour la chaleur » variant selon le type de bâtiment (maison individuelle, bâtiment industriel et commercial, hôpital, etc.). Cet indice comprend non seulement la consommation spécifique d'énergie pour le chauffage des pièces, mais aussi la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire et les besoins électriques du système de ventilation. Les valeurs limites à respecter varient en fonction de la source d'énergie utilisée. Si le label Minergie a pris le monopole des concepts énergétiques du bâti en Suisse, il est difficile d'utiliser ce standard dans les autres pays alpins, qui ont développé leurs propres normes. Ces dernières années, de nouveaux standards ont été développés : Minergie - P (comparable au standard passif allemand), Minergie A, Minergie P A (consommation énergétique nulle, incluant l'énergie grise et la consommation des occupants), Minergie ECO et Minergie P ECO (qui tiennent compte d'autres aspects environnementaux).

#### 2.1.5 LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE

Dans le bâtiment à énergie positive, les éléments passifs sont encore combinés différemment et complétés par une installation photovoltaïque. Les faibles besoins en chaleur résiduelle sont couverts par un petit poêle ou un réseau de chauffage à distance. On aménage également une grande installation photovoltaïque orientée au sud et inclinée, qui fournit sur toute l'année nettement plus d'électricité que la maison n'en consomme. D'une manière générale, ces bâtiments produisent plus d'énergie sous forme de courant solaire qu'ils ne consomment d'énergie thermique, d'où leur nom de « bâtiments à énergie positive ». Si, en hiver, la maison a besoin de l'électricité fournie par le réseau, en été elle alimente le réseau avec le courant en excès.

#### Photo 1

Dans les pays alpins, il existe déjà des maisons zéro énergie et à énergie positive



Tous ces labels concernent uniquement les besoins énergétiques d'exploitation et ne prennent pas en compte l'énergie grise, la provenance de l'énergie, l'impact environnemental des matériaux, l'incidence des matériaux sur la santé, la localisation de l'édifice et sa desserte par les transports en commun... Il existe d'autres labels qui intègrent des aspects environnementaux et de confort : LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, Nord américain puis repris par d'autres pays, comme en Italie), HQE (Haute Qualité Environnementale, France), BDM (Bâtiments Durables Méditerranéens, France), certificat DGNB (du Conseil Allemand pour la Construction Durable, Allemagne), Protocollo ITACA (Italie), CasaClima KlimaHaus au Tyrol du Sud, TQB en Autriche (Total Quality Building, né des labels IBO et klima:aktiv). Ils ont été comparés dans le cadre du projet ENERBUILD :

[http://www.enerbuild.eu/publications/2009-11\\_booklet\\_6-1\\_certification-instruments.pdf](http://www.enerbuild.eu/publications/2009-11_booklet_6-1_certification-instruments.pdf)



## 2.2

### EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES BÂTIMENTS NEUFS

Le fonctionnement d'un bâtiment neuf efficient sur le plan énergétique repose sur deux principes :

- La réduction des déperditions de chaleur (et de fraîcheur en été)
- L'optimisation des gains solaires

Dans le climat d'Europe centrale, l'élément déterminant est la réduction des déperditions. Sans réduction importante des déperditions de chaleur, les gains solaires ne servent à rien parce qu'ils disparaissent rapidement. On distingue deux types de déperdition de chaleur : les pertes de transmission, c'est-à-dire les pertes de chaleur entraînées par le passage de la chaleur à travers des éléments de construction, et les pertes d'aération, lorsque la chaleur se perd par l'ouverture de fenêtres ou par la présence de fenêtres non étanches (« aération à travers les joints »). Autre aspect important : stocker dans le bâtiment la chaleur acquise. Cela peut se faire par des matériaux de construction naturels ayant une capacité élevée d'accumulation de la chaleur et représentant une masse suffisante à l'intérieur du bâtiment (inertie thermique). Ces matériaux accumulent la chaleur qui pénètre dans le bâtiment par les fenêtres et la transmettent de manière constante à l'air ambiant.

#### 2.2.1

### FORME DU BÂTIMENT ET PLAN

La détermination de la forme et du plan d'un bâtiment pose déjà les bases de sa future consommation d'énergie. Le rapport entre la surface extérieure A et le volume V du bâtiment compris dans cette surface (rapport A/V) constitue une donnée théorique importante pour influencer et réduire les pertes de chaleur d'un bâtiment (tableau 2). Chaque avancée ou retrait d'un bâtiment ou chaque encorbellement produisent une surface supplémentaire dégageant de la chaleur. Si l'on ordonne par exemple 120 m<sup>2</sup> de surface habitable en forme de U, il faudra plus de surfaces extérieures pour la même surface habitable qu'avec un bâtiment compact. En ne donnant pas à une maison passive la forme d'un immeuble compact (rapport A/V ~ 0,25), mais celle d'un bungalow moins compact (A/V ~ 1,0), on multiplie par quatre ses besoins énergétiques pour le chauffage.

De plus, un bâtiment compact est moins cher à réaliser et il nécessite moins de place. Le défi pour l'architecte consiste à imaginer un bâtiment qui soit optimal sur le plan énergétique et intéressant sur le plan visuel.



**Tableau 2**  
Influence de la taille et des proportions d'une maison sur le rapport entre surface extérieure et volume (rapport A/V) [selon Humm, 2000]

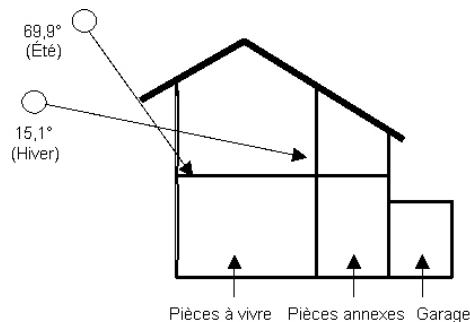
	Maison isolée		Maison jumelée		Construction compacte	
Volume V [m <sup>3</sup> ]	1000	10 000	1000	10 000	1000	10 000
Surface extérieure A [m <sup>2</sup> ]	1200	5570	850	3945	600	2785
A/V [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	1,2	0,56	0,85	0,39	0,6	0,28

### Concept pour le plan du bâtiment

Pour optimiser les gains solaires, le côté sud doit être suffisamment grand et le côté nord le plus petit possible. Il est conseillé de prévoir de grandes surfaces de fenêtres au sud. Des vitrages surdimensionnés ne sont toutefois pas recommandés, car à partir d'un certain nombre de mètres carrés, les pertes de chaleur dues à la transmission à travers le vitrage sont plus importantes que les gains solaires. Les salons, bureaux et chambres des enfants devraient être orientés au sud pour atteindre des températures de 20°C, tandis que les dépôts, les débaras et les escaliers, ainsi que le tambour d'entrée, où l'on peut se contenter de températures de 14 - 16°C, peuvent être situés au nord du bâtiment.

Pour éviter la surchauffe en été, les fenêtres doivent pouvoir être protégées par des auvents ou des volets. Dans les pays du Sud, le choix de la couleur de façade est important pour éviter de surchauffer le bâtiment en été (privilégier des couleurs claires).

**Figure 1**  
Exemple de bonne conception  
énergétique d'un bâtiment  
[selon Pregizer, 2002]



#### 2.2.2

### ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Pour réduire au maximum les déperditions de chaleur dues à la transmission, il est nécessaire d'isoler parfaitement l'enveloppe du bâtiment. Pour ce faire, tous les éléments de construction non transparents comme la structure portante des parois, du toit et du sol doivent présenter une valeur U maximale de 0,15 W/m<sup>2</sup>K. On atteint la protection thermique nécessaire par l'aménagement d'une isolation thermique. Les épaisseurs d'isolation varient entre 25 et 40 cm, en fonction du matériau de construction utilisé. Attention, un isolant performant en hiver ne le sera pas forcément en été. Laine de bois et cellulose possèdent un déphasage très important, ce qui signifie qu'ils sont performants pour lutter contre la surchauffe.

Réduire au maximum les ponts thermiques est une autre condition importante pour éviter les pertes de chaleur. La couche d'isolation ne doit jamais être interrompue. Il convient de réduire au strict minimum les éléments traversants inévitables, par exemple les fixations, et d'utiliser dans la mesure du possible des matériaux ayant de mauvaises propriétés de conduction. Il est aussi nécessaire d'éviter les ponts thermiques pour prévenir l'apparition d'eau de condensation et de moisissures. La lutte contre les ponts thermiques passe par une bonne conception du bâtiment. Il est beaucoup plus coûteux d'éliminer les ponts thermiques plus tard.

#### 2.2.3

### ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Pour le bon fonctionnement d'une maison efficace sur le plan énergétique, il est important que l'enveloppe du bâtiment soit imperméable à l'air. Les pertes de chaleur dues à un manque d'étanchéité ne peuvent pas être compensées par le chauffage comme dans les maisons conventionnelles. Il faut donc élaborer au cours de la planification un concept d'étanchéité à l'air qui prenne en compte toute l'enveloppe du bâtiment, y compris l'ensemble des joints et des éléments traversants. Chaque raccord et chaque prise électrique interrompant l'étanchéité, il est recommandé de prévoir une cloison technique pour le passage des câbles et des conduits.



La question de l'étanchéité totale du bâtiment dépend de son concept. L'architecture passive prévoit une étanchéité aux calories, à l'air mais aussi à l'humidité, nécessitant ainsi des pare-vapeurs pour éviter la condensation dans les murs. L'architecture bio-climatique qui prévoit des murs « respirants » ou « perspirants », privilégie des matériaux étanches à l'air mais laissant passer l'humidité.

#### 2.2.4 FENÊTRES

Comme l'isolation thermique de l'enveloppe, les fenêtres sont un élément essentiel d'un bâtiment énergétiquement performant. Elles doivent laisser pénétrer le plus possible d'énergie solaire dans le bâtiment (valeur  $g$  élevée) tout en réduisant les pertes lorsque le soleil se fait rare ou pendant la nuit (faible valeur  $U$ ). Lorsqu'on choisit la taille et le nombre des fenêtres, on doit donc peser les intérêts contradictoires des gains solaires et des déperditions de chaleur.

Les triples vitrages d'isolation thermique actuels atteignent des valeurs  $U$  allant de 0,5 à 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Les cadres des fenêtres des bâtiments passifs doivent être bien isolés, car ils peuvent aussi constituer des ponts thermiques. Les cadres pour maisons passives sont généralement composés d'une combinaison plastique-bois ou bois-alu. Les espaces creux des profils des cadres sont comblés avec de la mousse et munis d'une couche d'isolation ininterrompue. Plus le cadre est étroit, plus les gains thermiques sont élevés. La façon dont le cadre est posé joue aussi un rôle important : le mieux est qu'il ne soit pas installé directement sur la maçonnerie, mais qu'il soit encastré dans l'isolation.

Comme on peut voir dans la Figure 1, l'angle d'incidence des rayons de soleil est faible en hiver (hauteur du soleil : 15-20° au-dessus de l'horizon), ce qui leur permet de pénétrer à l'intérieur des pièces. Un angle d'incidence plus important permet d'éviter une surchauffe des pièces en été (hauteur du soleil : env. 70° au-dessus de l'horizon), tout comme un toit en avancée ou un ombragement des fenêtres par des stores extérieurs.

#### 2.2.5 SYSTÈMES DE VENTILATION AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

Dans les bâtiments énergétiquement performants, il s'agit d'une part de réduire les déperditions de chaleur, d'autre part d'aérer suffisamment pour évacuer l'humidité, le CO<sub>2</sub> et autres polluants. Dans les maisons passives, des systèmes de ventilation (Ventilation Mécanique Contrôlée double flux) assurent l'apport d'air frais. En même temps, ils permettent pratiquement de remplacer le chauffage, car ils disposent d'un système très performant de récupération de chaleur. Une quantité constante d'air extérieur est aspirée à travers un filtre (les allergiques peuvent notamment faire installer des filtres spéciaux à pollens) et amenée à un échangeur de chaleur. Simultanément, l'air vicié est aspiré dans les salles de bain et la cuisine et amené à l'échangeur de chaleur. La chaleur contenue dans l'air vicié est ainsi transmise à l'air frais. Un exemple : lorsque la température extérieure atteint 0°C et que l'air évacué fait 20°C, l'air frais sera réchauffé à 18°C dans l'échangeur de chaleur. Ces deux flux d'air étant entièrement séparés l'un de l'autre, il n'y a pas de mélange possible. L'air extérieur réchauffé et filtré est amené aux pièces à vivre et aux chambres jour et nuit.

Pour économiser encore plus d'énergie, on peut faire passer l'air frais dans une pompe à chaleur géothermique (ou puits canadien) avant son entrée dans le bâtiment. L'air frais aspiré est alors conduit dans des tuyaux de 20 à 50 m de long, posés à côté et sous la maison à environ un mètre de profondeur afin de les protéger du gel. La température du sol étant relativement constante à cette profondeur (elle atteint généralement 4-8°C), l'air extérieur est réchauffé à plus de 0°C. Inversement, un échangeur de chaleur permet de refroidir l'air provenant de l'extérieur et chaud en été. Toutefois, si l'on veut utiliser ce système en été, il faudra poser les tuyaux en pente pour évacuer l'eau de condensation qui se forme.

Les filtres des ventilateurs et échangeurs de chaleurs doivent être changés régulièrement.

Les systèmes de ventilation nécessitent néanmoins de l'électricité. L'optimum serait d'utiliser un système de ventilation naturelle, donc sans système de tirage et de contrôle fonctionnant à l'électricité, récupérant la chaleur. Les logements BedZed à Londres sont ventilés naturellement par un système de cheminées qui fonctionne avec le vent. A l'heure actuelle, il n'existe pas de système naturel de ce genre dans les Alpes, mais cela serait une piste à développer.

### 2.3

#### **LA RÉNOVATION EFFICACIE SUR LE PLAN ÉNERGÉTIQUE**

Les mesures pour améliorer la performance énergétique ne se limitent pas seulement à la construction de bâtiments neufs, mais peuvent et doivent être utilisées dans la rénovation de bâtiments existants. En 2004, les consommations énergétiques pour le chauffage se situaient autour de 150 à 200 kWh/m<sup>2</sup>a dans 80 % du parc immobilier autrichien. Ces bâtiments ne sont pas forcément anciens : l'utilisation de systèmes d'isolation thermique plus efficaces dans la construction de bâtiments neufs remonte à moins de vingt ans. Contrairement aux bâtiments neufs, pour lesquels certains pays ont déjà adopté des réglementations contraignantes en matière de consommations énergétiques pour le chauffage, les bâtiments anciens sont toujours largement exclus des mesures législatives d'économie d'énergie, alors qu'ils représentent la plus grande partie du parc bâti. Par ailleurs, dans certaines régions, la protection du patrimoine historique passe avant la rénovation thermique des bâtiments : on rénove avant tout les édifices et villages d'intérêt patrimonial, sans mesures particulières d'efficacité énergétique.

Le cycle de rénovation pour les bâtiments anciens s'élève à plus de trente ans. Il est donc particulièrement important d'utiliser dès aujourd'hui des techniques, des systèmes et des éléments qui permettent d'obtenir les meilleurs effets d'économie d'énergie pour l'avenir. Le bâtiment « durable » est celui que l'on n'aura pas à rénover de nouveau dans 30 ans. Jusqu'ici, les modernisations ne respectaient souvent que des exigences minimales, ou alors on ne remplaçait que certains éléments (système de chauffage ou fenêtres), ce qui ne permettait pas de réduire massivement la consommation d'énergie. Une rénovation de qualité et efficace sur le plan énergétique tient compte des expériences faites dans la construction de maisons passives et cherche des solutions pour le bâtiment tout entier. Même s'il n'est pas possible d'utiliser toutes les solutions pour maisons passives dans tous les bâtiments existants, on peut tout de même avoir recours à de nombreux éléments dans la rénovation. Dans ce contexte, l'objectif prioritaire n'est pas d'atteindre à tout prix le standard « maison passive » de 15 kWh/m<sup>2</sup>a. La rénovation complète d'un bâtiment avec le recours à des éléments de la maison passive permet d'atteindre des valeurs comprises entre 25 et 35 kWh/m<sup>2</sup>a, ce qui correspond à des économies d'énergie de l'ordre de 80 à 90 %.

La rénovation énergétique bien planifiée d'un bâtiment ancien offre de nombreux avantages, tant pour le propriétaire que pour le locataire. Les investissements nécessaires sont rapidement amortis par les économies de frais de chauffage. La rénovation accroît considérablement la durée d'utilisation et la valeur de l'immeuble.

#### **Photo 2**

La rénovation énergétique du lycée de Sonthofen/D a amélioré le cadre de vie des lycéens et permis de réduire de 80 % les émissions de CO<sub>2</sub>.



### 2.3.1 UNE BONNE PLANIFICATION, LA CLEF DU SUCCÈS

Lorsqu'on modernise des immeubles existants, on doit tenir compte de nombreux aspects. Il faut entreprendre les réparations nécessaires, adapter le bâtiment à de nouveaux usages et lui apporter des améliorations techniques. Il s'agit donc de concilier un grand nombre d'aspects et de tenir compte de leurs incidences. On doit souvent résoudre une foule de petits problèmes et examiner les relations que peuvent avoir entre elles les différentes mesures prévues, ce qui n'est pas toujours une tâche aisée. Dans le passé, des rénovations inappropriées ou incomplètes ont fréquemment provoqué des dommages aux bâtiments et jeté le discrédit sur les mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments anciens. L'installation de nouvelles fenêtres bien étanches dans un bâtiment ancien entraîne par exemple une réduction des échanges d'air. Lorsque l'aération est insuffisante, l'humidité de l'air augmente de plus de 80 % aux environs des ponts thermiques, dans les angles des murs extérieurs et derrière les meubles. L'apparition de moisissures n'endommage pas seulement les matériaux, elle peut aussi entraîner des risques sanitaires pour les occupants. On a donc tout intérêt à établir un concept général avant toute rénovation, afin d'harmoniser les différentes mesures et de les soumettre à une analyse coût-bénéfice. En procédant par étapes, on planifiera les mesures de façon à ne pas compromettre d'éventuels travaux de rénovation futurs.

### 2.3.2 IDENTIFIER LES POINTS FAIBLES

La première étape consiste toujours à calculer l'indice de dépense énergétique du bâtiment. Lorsque celui-ci est supérieur à 80 kWh/m<sup>2</sup>a, il convient d'en rechercher les causes et d'identifier les points faibles du bâtiment.

La consommation d'énergie pour le chauffage dépend largement des déperditions de chaleur par transmission (murs extérieurs, toit, sol, cave, fenêtres et ponts thermiques). On peut identifier précisément les points faibles énergétiques, et notamment les ponts thermiques, à l'aide de relevés thermographiques. Les valeurs U pour les murs et la construction du toit, ainsi que pour les fenêtres peuvent être établies par un spécialiste. Un bilan énergétique pour tout le bâtiment est finalement réalisé à l'aide de programmes de calcul pour quantifier la contribution de chaque élément de construction à la perte de chaleur. On peut ainsi prendre des mesures ciblées pour réduire les déperditions de chaleur.

### 2.3.3 MESURES DE RÉNOVATION SPÉCIFIQUES À CERTAINS ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION

#### Caves et murs appuyés contre une colline

La température du sol étant toujours plus élevée que la température extérieure de l'air durant la saison de chauffage, un élément de construction en contact avec la terre perd généralement moins de chaleur qu'un mur extérieur situé au-dessus du sol. Néanmoins, le contact de murs peu ou pas isolés avec la terre entraîne des dégâts d'humidité ou l'apparition de moisissures. Lorsqu'un assèchement est de toute façon nécessaire, il est toujours préférable de réaliser une isolation par l'extérieur.

#### Enveloppe du bâtiment

D'une manière générale, une rénovation au standard « maison passive » n'est possible qu'avec une isolation extérieure des murs. En effet, une isolation thermique extérieure permet de supprimer les ponts thermiques tels que les extrémités de dalles mal isolées, alors que ce n'est pas possible avec une isolation intérieure. Autre inconvénient de l'isolation intérieure : elle réduit toujours la surface d'habitation. Une isolation thermique de 25 cm implique par exemple une réduction d'environ 10 m<sup>2</sup> de la surface habitable d'une maison moyenne. Lorsqu'une isolation extérieure n'est pas envisageable pour des questions de protection du

patrimoine ou de bornes de terrain (dans le cas d'une maison construite très près des bornes d'un terrain, l'ajout d'une isolation extérieure pourrait entraîner un dépassement de la distance réglementaire), une isolation intérieure permet malgré tout de réduire à 60 kWh/m<sup>2</sup>a les besoins énergétiques pour le chauffage.

### Toit

Du fait que l'air chaud monte, les plafonds ou les greniers mal isolés sont la cause principale des pertes de chaleur d'un bâtiment. Quand on entreprend la réparation thermique d'un toit, la méthode la plus simple consiste à poser une isolation thermique entre les chevrons existants en utilisant tout le profil des chevrons. Les chevrons constituent eux-mêmes un pont thermique en raison de leur conductibilité thermique plus élevée. Ils doivent donc être aussi isolés. Lorsque la hauteur des chevrons est peu importante, on peut aussi poser une deuxième couche d'isolation sous ceux-ci. Cette solution a l'avantage de permettre une isolation sans ponts thermiques, mais elle implique une perte de place.

Dans les bâtiments avec greniers froids, le dernier plafond termine l'enveloppe isolante du bâtiment vers le haut. On peut isoler le plafond du côté froid du grenier. On décidera alors s'il faut une isolation sur laquelle on puisse marcher pour pouvoir utiliser le grenier comme débarras.

### Sol

En hiver, la température de la cave est en principe de 10 à 15°C inférieure à celle des pièces d'habitation. La cave prélève donc de la chaleur aux pièces chauffées. Isoler du côté supérieur de la dalle de la cave n'entre en question que si une rénovation complète du sol est entreprise. Il ne faut pas oublier que ces travaux entraînent une modification de la hauteur des pièces dont il faut tenir compte, notamment pour les portes et les escaliers. En général, on pose l'isolation sous la dalle de la cave. Excepté une réduction de la hauteur de la pièce, cette solution ne présente pas d'inconvénients majeurs. Toutefois, avec cette variante, les murs extérieurs de la cave constituent un pont thermique qui ne peut être réduit que par une isolation du mur extérieur.

### Fenêtres

Les fenêtres devraient présenter une valeur U de 0,7 à 0,8 W/m<sup>2</sup>K et, si possible, ne pas être divisées en petits carreaux par de véritables barreaux, car cela réduit leur effet isolant. Il faut toujours examiner la possibilité d'agrandir la surface des fenêtres au sud pour accroître les gains thermiques. La pose devrait se faire de façon à que le cadre de la fenêtre soit encastré dans l'isolation. Une isolation des cadres de fenêtres réduit les pertes de chaleur entre le cadre et le mur.

## 2.3.4

### EFFICACITÉ DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

#### Chauffage

Dès qu'une chaudière atteint 15 à 20 ans, on peut envisager de la remplacer. Dans la mesure du possible, on installera un chauffage au bois ou une pompe à chaleur. Dans la plupart des cas, il est facile de remplacer un vieux chauffage à mazout par un chauffage à granulés (tenir compte du diamètre de la cheminée). La technique des chaudières à bûches a aussi fait d'énormes progrès au cours des dix dernières années. Une nouvelle chaudière permet d'économiser jusqu'à 40 % d'énergie et émet jusqu'à 90 % de polluants en moins.

Les chaudières combinées, qui peuvent fonctionner avec différentes sources d'énergie, ne sont pas une solution intéressante : aucune des énergies concernées n'est exploitée de manière efficace et écologique. En règle générale, les vieilles chaudières sont surdimensionnées, ce qui réduit leur rendement et la durée de vie. Les mesures de rénovation du bâtiment permettent de réduire fortement les besoins en chaleur. La nouvelle chaudière devra donc être adaptée à ces nouveaux besoins.

### Production d'eau chaude sanitaire

Si l'on remplace de toute façon les installations de chauffage, on pourra combiner la chaudière avec un réservoir d'eau chaude qu'elle alimentera. La solution idéale consiste à faire chauffer le réservoir d'eau par une installation solaire en été et durant l'entre-saison, et par la chaudière en hiver seulement. La production d'eau chaude au moyen de capteurs solaires est une technique éprouvée. On peut installer les capteurs aux endroits les plus divers. Même avec des écarts importants par rapport à l'orientation idéale au sud et à l'angle d'inclinaison optimal de 40 degrés, une installation solaire reste rentable. En cas d'écart de 10 % par rapport à l'angle d'inclinaison idéal, la perte de rendement n'est que de 3 à 4 %. Même une orientation à l'ouest ou à l'est ne réduit le rendement annuel des capteurs solaires que de 20 à 25 %.

S'il n'est pas possible d'aménager une installation solaire thermique, on peut chauffer l'eau à l'électricité en été. Le mieux est d'utiliser une pompe à chaleur. Un réservoir d'eau chaude bien isolé ne perd que 1 à 2°C par jour. Il ne faut donc le chauffer que deux fois par jour au maximum. On a intérêt à relier aussi le lave-linge et le lave-vaisselle au réservoir, car cela permet de réduire les frais d'énergie et les dépôts calcaires.

### Système de ventilation

Lorsque l'enveloppe du bâtiment a été étanchéifiée et isolée et que l'on a remplacé les fenêtres, il faut aérer plus souvent pour évacuer l'humidité. Cela requiert un changement des habitudes des occupants, et il est souvent indispensable d'installer un système de ventilation. Un système de ventilation avec récupération de chaleur permet de réduire encore davantage les besoins énergétiques pour le chauffage. Sur les axes de circulation bruyants, il peut être particulièrement agréable d'avoir un système de ventilation pour assurer un apport d'air neuf améliorant le confort des immeubles d'habitation et des bureaux.

Pour le matériel technique précité et son entretien, il convient de privilégier les matériaux de construction régionaux à base de matières premières renouvelables et à faible énergie grise.

## 2.4 **PRÉJUGÉS À L'ENCONTRE DE LA CONSTRUCTION EFFICIENTE SUR LE PLAN ÉNERGÉTIQUE**

Construire un bâtiment sans chauffage sous nos latitudes et en altitude suscite souvent le plus grand scepticisme de la part des maîtres d'ouvrage et des architectes.

**« DANS CE GENRE DE MAISONS, ON NE PEUT JAMAIS OUVRIR LES FENÊTRES ! »**

L'être humain a besoin d'environ 30 m<sup>3</sup> d'air frais à l'heure, cette valeur dépendant de son activité. Cependant, le critère de la qualité de l'air dans une pièce n'est pas sa teneur en oxygène, mais sa teneur en CO<sub>2</sub> et en substances polluantes ainsi que son humidité relative. La teneur en CO<sub>2</sub> donne une bonne indication de la qualité de l'air ambiant. La majeure partie des occupants juge la qualité de l'air ambiant bonne lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> ne dépasse pas 0,1 %. Pour garantir une qualité de l'air suffisante, il faudrait ouvrir les fenêtres pendant 15 minutes toutes les trois heures en cas d'aération manuelle.

Pour minimiser les pertes de chaleur causées par l'aération, l'apport d'air frais dans les maisons passives se fait par un système de ventilation contrôlée pendant la période de chauffage entre novembre et mars. Les fenêtres peuvent être ouvertes quand on le souhaite, mais en hiver on veillera à limiter les pertes de chaleur pour ne pas devoir les compenser par un chauffage d'appoint. Dans les

maisons à absorption solaire directe, l'aération nécessaire se fait en ouvrant les fenêtres. Pendant les périodes de beau temps, on peut garder sans problème les fenêtres ouvertes. Par mauvais temps, il faut aérer vite et à fond pour ne pas perdre trop de chaleur et obtenir suffisamment d'air frais.

### Photo 3

Située à 900 mètres d'altitude, la maison à absorption solaire directe de Trin/CH se passe de systèmes de ventilation et de chauffage.



### « DANS CES MAISONS, ON VOIT APPARAÎTRE DES MOISSURES ! »

Les champignons responsables de la moisissure peuvent apparaître presque partout lorsqu'ils trouvent suffisamment de substances nutritives et de bonnes conditions de température. Mais le facteur décisif pour l'apparition de moisissures est l'humidité : ce n'est qu'à partir d'une humidité de l'air supérieure à 75 % que les spores de moisissures trouvent des conditions favorables à leur développement. Dans les maisons mal isolées, l'air chaud à l'intérieur peut se déposer contre les murs extérieurs, plus froids (formation d'eau de condensation), occasionnant ainsi des moisissures.

La technique passive rend l'apparition de moisissures pratiquement impossible. Du fait de la répartition équilibrée des températures dans les éléments de construction (grâce à l'excellente isolation thermique et à la suppression des ponts thermiques), l'humidité de l'air ne peut se déposer nulle part. Dans les maisons à absorption solaire directe, les systèmes ouverts à la diffusion utilisés permettent à la vapeur d'eau de passer librement à travers l'élément de construction et l'empêchent de se déposer. Des matériaux « perspirants » naturels permettent soit de laisser passer l'humidité vers l'extérieur du bâtiment, soit d'emmagasiner l'humidité et de la restituer lorsque l'air est plus sec.

### « ÇA COÛTE BEAUCOUP TROP CHER ! »

Un bâtiment énergétiquement performant n'a pas besoin de système de chauffage conventionnel. Cela permet d'investir dans un système de ventilation hautement performant, de meilleures fenêtres et une isolation thermique optimale. Grâce aux progrès réalisés dans le domaine des techniques domestiques, à la demande croissante et à la spécialisation des entreprises, la construction d'un bâtiment passif entraîne actuellement des légers surcoûts d'investissement dans les pays où l'offre est conséquente, plus dans les pays où les concepteurs et artisans sont peu familiarisés avec cette technique. Le programme européen CEPHEUS nous donne des chiffres un peu plus précis basés sur des constructions réelles à travers l'Europe : un surcoût de construction estimé entre 7 et 15 %. Avec les maisons à absorption solaire directe, on fait même l'économie d'un système de ventilation.

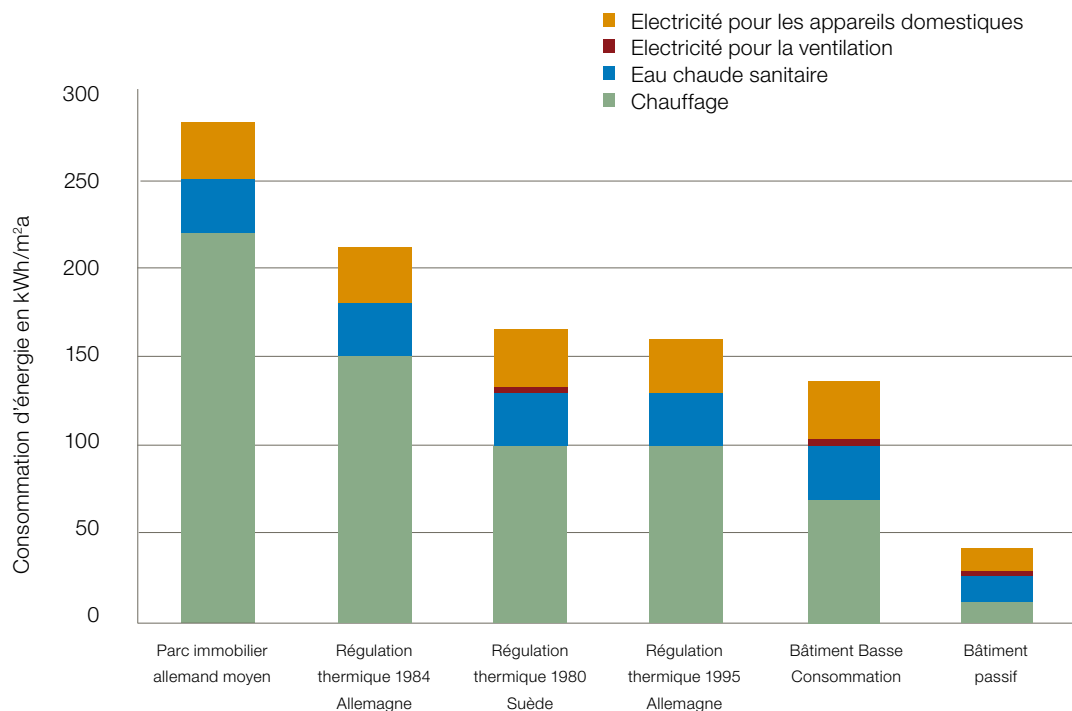
Il faut aussi prendre en compte les frais d'exploitation ultérieurs. Une maison passive économise 90 % d'énergie par rapport à une maison ancienne, 75 % par rapport à une maison neuve « classique ». Si l'on intègre dans les calculs les frais d'énergie capitalisés (à savoir les investissements y compris la conception et les installations techniques, plus les frais d'exploitation sur 30 ans), on peut déjà construire aujourd'hui des maisons passives dont le coût, lorsqu'on considère tout leur cycle de vie, ne dépasse pas celui d'un bâtiment neuf conventionnel. Par ailleurs, on peut s'attendre à ce que les frais de chauffage augmentent de 3 à 5 % par an, ce qui va rendre les bâtiments énergétiquement performants toujours plus attractifs.



**Figure 2**

Consommation énergétique  
des édifices  
allemands et suédois.

Source : CEPHEUS



**« CES CONSTRUCTIONS SONT RÉSERVÉES AUX ENDROITS EXPOSÉS AU SUD ! »**

La fameuse phrase de Diogène – « Ôte-toi de mon soleil ! » – constitue l'un des piliers d'un bâtiment énergétiquement performant. Toutefois, on a déjà construit des bâtiments passifs aux endroits les plus divers. Ces bâtiments prouvent qu'un écart par rapport à l'orientation idéale au sud peut être compensé par d'autres facteurs. Des écarts d'orientation atteignant 30° vers l'ouest ou vers l'est sont possibles si l'on renforce l'isolation thermique.

Dans le cadre du projet CEPHEUS, on a notamment construit des maisons d'habitation présentant une orientation est-ouest. Grâce à une construction compacte, les consommations énergétiques pour le chauffage n'y dépassent pas 15 kWh/m²a. Les vitrages sud du lotissement « Piazza-Casa » à Bilten/CH, constitué de maisons passives, sont partiellement ombragés par les montagnes environnantes. Ces bâtiments sont néanmoins conformes au standard « maison passive » grâce à une optimisation de l'isolation.

**Photo 4**

À Auzet dans les Alpes françaises du Sud se dressent à 1300 m d'altitude les logements passifs sociaux les plus élevés de France.



# L'ÉNERGIE GRISE : UN INDICATEUR ÉCOLOGIQUE IMPORTANT

Une grande partie de la consommation d'énergie et des émissions de CO<sub>2</sub> qui en découlent est liée à la fabrication d'un matériau de construction, c'est-à-dire avant le début même des travaux de construction. Cette énergie nécessaire à la fabrication d'un produit est nommée énergie primaire (PEI) ou énergie grise. On distingue les sources d'énergie renouvelables (PEI r. - bois, hydroélectricité, soleil et éolien) et les sources d'énergie non renouvelables (PEI n.r. - pétrole, gaz, lignite et houille, uranium).

L'énergie grise est un indicateur de l'utilisation des ressources et de l'impact environnemental lors de la fabrication d'un produit. On prend ainsi en compte l'extraction des matières premières ainsi que les ressources utilisées pour la production et le transport, jusqu'au produit fini en sortie d'usine.

Une évaluation écologique devrait, autant que possible, mesurer le danger et l'impact environnemental d'un produit. D'autres indicateurs comme le potentiel de gaz à effet de serre (GWP - Global Warming Potential) et le potentiel d'acidification (AP-Acidification Potential) sont aussi considérés. Le potentiel de gaz à effet de serre mesure l'impact global et le potentiel d'acidification mesure l'impact local (par exemple sur les cours d'eau et les sols).

## 3.1

### LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET LEUR ÉNERGIE GRISE

L'évaluation de l'énergie grise doit jouer un rôle important dans le choix des matériaux, qui doit aussi prendre en compte la disponibilité, le recyclage et l'élimination des matières premières. En général, les matériaux locaux à base de matières premières renouvelables remplissent ces exigences.

Le Baubook ([www.baubook.info](http://www.baubook.info), de) est une plateforme Internet accessible gratuitement et dédiée à la construction durable. Elle contient des informations sur les principaux matériaux de construction: détails techniques, critères de sélection, calculateur énergétique, critères pour un appel d'offres écologique, et informations générales sur la construction et la rénovation écologiques. Le site [www.catalogueconstruction.ch](http://www.catalogueconstruction.ch) contient également de nombreuses informations en français.

#### Photo 5

La rénovation de l'école Giessen à Vaduz/LI a permis non seulement de préserver l'architecture historique du bâtiment mais aussi d'assurer un bilan en énergie grise sur 60 ans (54 MJ/m<sup>2</sup>a) bien meilleur que si l'on avait construit une nouvelle école.  
Source : Lenum AG



L'énergie grise de plusieurs types de matériaux (non exhaustif) est détaillée ci-après.

### ISOLANTS THERMIQUES

Le choix d'un isolant thermique approprié dépend des exigences thermiques et des caractéristiques de l'isolant. Des exigences claires permettent de choisir l'isolant le mieux adapté. Dans certaines applications, par exemple l'isolation au sol, l'isolant doit être résistant à l'humidité. Il s'agit ici d'isolants à base de verre expansé ou de polystyrène hydrophobe expansé (EPS) ou extrudé (XPS).

En général, les isolants à base de matières premières renouvelables comme la laine de mouton, le liège, le roseau ou la cellulose ont nécessité peu d'énergie grise pour leur production. Pour la plupart de ces matériaux, le recyclage ou l'élimination ne posent pas de problème. Pour plus d'information et d'indicateurs, voir le chapitre 4 « Isolation écologique ».

### BÉTON ARMÉ

La proportion d'acier utilisé pour l'armature du béton a une influence importante sur la quantité d'énergie requise pour la production de béton armé. Mais les adjuvants comme les liquéfiant, les retardants ou les étanchéifiants ont une empreinte écologique significative et devraient être évités. Il existe maintenant des produits à base de ciment qui réduisent leur consommation d'énergie grise et leurs émissions de CO<sub>2</sub> de plus de 80 % par rapport à du ciment Portland conventionnel. Le béton recyclé consomme à peu près autant d'énergie grise que le béton conventionnel. Il permet par contre de réduire la consommation de gravier.

### BRIQUES

Souvent, le terme « brique » est utilisé pour décrire la brique creuse cuite. Pourtant, les briques peuvent aussi être constituées d'autres matériaux (béton, argile expansé, calcaire, béton cellulaire, argile...). Ce sont les différentes exigences mécaniques, acoustiques ou thermiques qui vont influencer sur le choix du matériau. L'énergie grise contenue dans les briques est en majorité consommée lors du processus de cuisson et de chauffage. Par rapport à une brique classique, l'énergie grise du béton cellulaire et de la brique de calcaire est inférieure de 60 à 70 %, celle de la brique d'argile de 90 %

**Tableau 3**

Types de briques  
et leurs propriétés

Source : www.baubook.info

Prix moyens TTC sujet à de  
fortes variations selon la sai-  
son, la quantité, le détaillant  
etc.

Source: Guide de la construc-  
tion écologique, Energieinsti-  
tut Vorarlberg 2011

	Densité brute		Conductibilité thermique $\lambda$		Energie Primaire non renouvelable (PEI n.r.)		Prix indicatif
	kg/m <sup>3</sup>		W/mK		MJ/m <sup>3</sup>	€ par m <sup>3</sup>	
	de	à	de	à	de	à	
Parpaing	800	1400	0,06	1,2	480	840	85
Brique creuse	600	1600	0,11	0,7	1380	3680	80
Brique silico-calcaire	1000	2200	0,5	1,3	1300	2860	195
Brique pleine	1700	2200	0,7	0,9	6290	8.40	-
Brique d'argile	1200	2000	1	480	800		
Béton léger avec argile	400	1600	0,13	0,5	880	3520	-
Béton cellulaire	225	775	0,085	0,21	630	2170	205

### BOIS ET DÉRIVÉS

Du point de vue de l'énergie grise, l'utilisation de bois et de produits dérivés du bois est recommandée. Il faut cependant prendre en compte le processus de fabrication et l'utilisation d'additifs (colles, biocides, acier, etc.)

Pour le bois de sciage (bois équarri, planches avivées), une distinction s'impose entre le séchage naturel du bois et celui par des procédés techniques. Le séchage du bois permet de ramener son humidité d'environ 30-80 % (à l'état frais) à 15-20 % (séchage naturel), voire 12 % (séchage technique). Les panneaux à trois couches sont réalisés en collant ensemble trois couches de bois, ces couches étant plus nombreuses pour le lamellé-collé et le contreplaqué. Les liants employés lors du panneautage sont à l'origine d'environ 30 % de l'énergie grise. Il est donc important de choisir du bois et des dérivés du bois issus d'une exploitation durable. Ceci signifie simplement qu'il doit pousser autant ou plus de bois que ce qui est coupé. C'est le cas de la plupart des bois en provenance d'Europe. Pour plus d'information se référer également au Module 3 « Matériaux écologiques ».

### 3.2 ELÉMENTS DU BÂTIMENT

Les matériaux de construction devraient toujours être choisis en vue de leur utilisation optimale dans les éléments du bâtiment et dans l'ensemble du bâtiment. Le calcul de l'énergie grise est en effet seulement pertinent au niveau des éléments du bâtiment. La conception des éléments du bâtiment prend donc en compte, outre une teneur en énergie grise minimale, des matériaux non-polluants, un entretien et une maintenance faciles, ainsi qu'un démontage et un recyclage simples. L'isolation acoustique et thermique et l'étanchéité à l'air et l'eau sont aussi des critères qui doivent être considérés lors de la conception.

Une conception optimisée peut, selon les éléments du bâtiment, économiser entre 40 et 70 % d'énergie grise. En général, des matières premières locales et renouvelables sont utilisées dans ce type de construction (par exemple : bois, roseau, chanvre, paille. Le tableau suivant indique l'énergie grise des principaux éléments du bâtiment.

**Tableau 4**  
Teneur en énergie grise des éléments du bâtiment.  
Source : U. Kasser, Büro für Umweltchemie, Energieinstitut Vorarlberg

	PEI n.r. en MJ/m <sup>2</sup>
Mur extérieur	600 - 1200
Toit plat	1500 - 2300
Toit incliné	600 - 1200
Cloison intérieure légère en plaques de plâtre	350 - 550
Plafond	500 - 800
Cadre de fenêtre	1100 - 4100
Vitrage	300 - 600

### FENÊTRES

Les fenêtres jouent un rôle clé dans le bilan énergétique global d'un bâtiment. Leur taille, leur orientation et leur conductibilité (valeur U) influent grandement sur la consommation énergétique d'un bâtiment. Mais l'énergie nécessaire à la production de certains types de cadre et du vitrage peut être considérable. Par exemple, un cadre en plastique avec un habillage en aluminium requiert trois fois plus d'énergie grise qu'un cadre en bois. En comparaison, l'énergie grise du vitrage est modeste. Les économies d'énergie compensent rapidement la faible surconsommation d'énergie nécessaire au revêtement d'un vitrage thermique et à son remplissage à l'argon. Le tableau 4 (page suivante) présente des valeurs indicatives pour l'énergie grise non renouvelable (PEI n.r.), ainsi que le potentiel de gaz à effet de serre sur 100 ans (GAS 100) et le potentiel d'acidification (PA).

**Tableau 5**

Propriétés des cadres de fenêtres et des vitrages

Légende : PEI n.r. = teneur en énergie grise non renouvelable, GAS 100 = potentiel de gaz à effet de serre sur 100 ans, PA = potentiel d'acidification, CO<sub>2</sub> = Dioxyde de carbone, SO<sub>2</sub> = Dioxyde de soufre

Source : www.baubook.info

Cadre de fenêtre Valeur par mètre carré	PEI n.r. en MJ/m <sup>2</sup>	GAS 100 en kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	PA en kg SO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Aluminium (standard)	3780	255,7	1,12
Bois/Alu (standard maison passive)	2230	23,7	0,65
Bois/Alu (standard)	1610	39,6	0,48
Bois (standard maison passive)	1680	-17,8	0,47
Bois (standard)	1130	4,3	0,32
Plastique (standard maison passive)	3680	162,3	0,60
Plastique (standard)	3290	146,8	0,55
Plastique + habillage aluminium (standard)	4070	198,6	0,77
<b>Vitrage</b>			
Double vitrage thermique avec revêtement (4-16-4 Argon)	314	25,0	0,19
Triple vitrage thermique avec revêtement (4-16-4-16-4 Argon)	534	40,8	0,31

### MURS, TOIT, SOLS

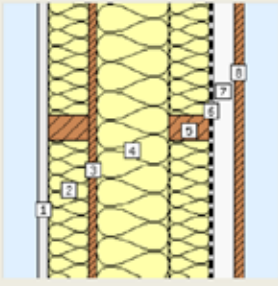
Sur la durée de vie du bâtiment, le chauffage représente le plus important poste de consommation d'énergie. Il est donc pertinent d'optimiser l'isolation pour des raisons économiques autant qu'écologiques. En construction neuve comme en rénovation, les murs et éléments extérieurs doivent être isolés selon les meilleurs standards en vigueur afin de garantir dans le temps la valeur du bâtiment. Deux constructions exemplaires au standard passif sont présentées ci-dessous afin d'illustrer le potentiel d'optimisation d'un bâtiment.

**Tableaux 6 et 7**

Épaisseur, conductivité thermique (λ) et teneur en énergie grise en énergie primaire non renouvelable (PEI n.r.) des éléments de deux exemples de murs au standard passif.

Source : Energie Institut Vorarlberg, www.baubook.info

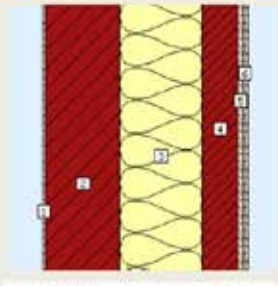
**Mur extérieur en bois, façade ventilée**



No.	Type	Description (de l'intérieur vers l'extérieur)	épaisseur cm	λ W/mK	PEI nr MJ/m <sup>2</sup>
1		Plaque de plâtre	2,5	0,27	160
2a		90% Isolant laine de mouton	10	0,04	53
2b		10% Bois – résineux, brut de sciage, séchage naturel	10	0,12	10
3		Plaque OSB	1,8	0,13	94
4a		83% Isolant plaque de chanvre	18	0,04	151
4b		17% Bois – résineux, brut de sciage, séchage naturel	18	0,12	41
5a		90% Isolant plaque de chanvre	10	0,04	90
5b		10% Bois – résineux, brut de sciage, séchage naturel	10	0,12	14
6		Parre-vent, polyéthylène, perméable à la vapeur	0,01	0,50	7
7a		85% couche d'air verticale, circulation de chaleur horizontale	5		0
7b		15% Bois – résineux, brut de sciage, séchage naturel	5	0,12	8
8		Bois – Résineux, raboté, séchage technique	2,5	0,12	49

0,119 W/m<sup>2</sup>K U-Wert  
Masse 92,8 kg/m<sup>2</sup>  
PEI n. r. 678 MJ/m<sup>2</sup>  
GAS100 -75,1 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>  
PA 0,163 kg SO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

**Brique creuse - mur extérieur, 2 couches**



No.	Type	Description (de l'intérieur vers l'extérieur)	épaisseur cm	λ W/mK	PEI nr MJ/m <sup>2</sup>
1		Enduit chaux-ciment	1,5	1,00	37
2		Brique creuse <=800kg/m <sup>3</sup>	25	0,25	459
3		Laine de verre (15 < non-traitée <= 25 kg/m <sup>3</sup> )	28	0,04	324
4		Brique creuse <=800kg/m <sup>3</sup>	12	0,25	220
5		Enduit chaux-ciment	1,7	1	42
6		Enduit à la silice	0,19	0,8	13

0,113 W/m<sup>2</sup>K U-Wert  
Masse 364 kg/m<sup>2</sup>  
PEI n. r. 1095 MJ/m<sup>2</sup>  
GAS100 80 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>  
PA 0,283 kg SO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

## ISOLATION : AUSSI ÉPAIS QU'ÉCOLOGIQUE

L'épais « manteau d'hiver » d'un bâtiment réduit les déperditions de chaleur pendant la période de chauffage, assure le confort intérieur et allège les frais de fonctionnement. Écologiquement et économiquement, il est donc pertinent de bien isoler.

Les isolants à base de matières premières naturelles et renouvelables sont particulièrement respectueux de l'environnement. Laine de mouton, liège, chanvre, roseau, lin ou flocons de cellulose nécessitent moins d'énergie pour leur fabrication, et leurs composants ne constituent pas un problème pour la santé. Une utilisation la plus longue possible des isolants et du bâtiment permet de préserver l'environnement et de réduire les coûts. Concernant sa réutilisation, la situation de montage est aussi importante que le matériau utilisé : l'installation d'isolants renouvelables doit ainsi prévoir une réutilisation, un recyclage ou une élimination facile.

**Tableau 8**

Caractéristiques de différents isolants

Source : www.baubook.info

PEI n.r. : Besoin en énergie primaire non renouvelable (voir aussi chapitre 3 « Énergie grise »)

Prix moyens TTC sujet à de fortes variations selon la quantité, la saison, le détailant etc. (Source: guide de la construction écologique, Energieinstitut Vorarlberg 2011)

UF : Unité Fonctionnelle de résistance thermique : épaisseur du matériau d'isolation nécessaire pour atteindre la valeur U de 0,15 W/m<sup>2</sup> (résistance thermique de 6,5 m<sup>2</sup>K/W)

	Densité brute		Conductivité thermique λ		Énergie Primaire non renouvelable (PEI n.r.)		Prix indicatif	
	kg/m <sup>3</sup>		W/mK		MJ/m <sup>3</sup>		€ par	
	de	à	de	à	de	à	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> UF
Isolant perlite	100	280	0,05	0,06	3.90	8932	180	80
Isolant fibre de lin	30	60	0,04	0,05	945	2118	140	40
Fibre d'herbe	30	50	0,04	0,05	534	890	150	40
Isolant fibre de chanvre	40	55	0,04	0,05	1148	1579	160	50
Panneau fibres de bois	50	250	0,04	0,06	280	3600	290	85
Panneau laine de bois	350	550	0,09	0,15	1330	2255	360	160
Isolant liège	80	200	0,04	0,06	520	1300	360	130
Isolant liège (bitumineux)	80	200	0,04	0,06	920	2300	360	130
Plaque mousse minérale	90	375	0,04	0,45	1.107	4613	n.c.	n.c.
Laine minérale - laine de verre	10	100	0,035	0,05	463	4630	120	30
Laine minérale - laine de roche	30	150	0,035	0,05	642	3210	150	40
Panneau résine phénolique	35	50	0,025	0,04	4599	6570	n.c.	n.c.
Polystyrène expansé (EPS)	10	30	0,03	0,045	989	2967	100	25
Polystyrène extrudé (XPS)	30	45	0,032	0,042	2808	4212	250	50
Polyuréthane (PUR)	30	40	0,025	0,03	2820	3760	360	80
Feutre isolant laine de mouton	15	40	0,04	0,05	296	788	160	50
Panneau verre cellulaire	10	180	0,04	0,06	410	7380	470	140
Verre cellulaire	140	200	0,08	0,15	1078	1540	140	95
Panneau de roseaux	140	150	0,05	0,06	168	180	n.c.	n.c.
Botte de paille	60	120	0,05	0,06	48	96	60	20
Panneau isolant sous-vide	180	250	0,01	0,02	12150	16875	6000	360
Flocons de cellulose	35	100	0,04	0,045	251	718	100	25
Panneau isolant cellulose	70	100	0,04	0,045	1225	1750	200	50



# LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTI

L'utilisation des énergies renouvelables présente non seulement des conséquences positives à long terme pour le climat et le porte-monnaie des utilisateurs, mais a également des impacts économiques positifs pour les régions alpines : d'abord, la création de richesses reste dans la région et génère ainsi des effets positifs sur l'emploi ; d'autre part, leur utilisation accrue réduit la dépendance aux importations, augmentant ainsi la sécurité de l'approvisionnement et réduisant les risques de conflits géopolitiques. Contrairement aux sources d'énergie fossiles, les énergies renouvelables peuvent être produites dans l'espace alpin.

Parmi les sources d'énergie renouvelable, on distingue d'une part les sources « traditionnelles » (hydraulique, bois de chauffage) et d'autre part les nouvelles sources d'énergie renouvelable (éolien, photovoltaïque, géothermie). Les sources d'énergie renouvelables sont considérées comme étant « climatiquement neutres » car, dans la production d'énergie, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre (hydraulique, éolien, solaire, géothermie) ou rejettent dans l'atmosphère la même quantité de CO<sub>2</sub> qu'elles ont absorbé auparavant (biomasse). En réalité, les émissions de GES ne sont pas totalement absentes et peuvent apparaître lors de la construction et de l'entretien des installations destinées à la production d'énergie.

## 5.1 CHAUFFAGE ET PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Le choix du système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire doit se faire au moment de la conception ou de la rénovation du bâtiment. Selon les conditions géoclimatiques liées à l'implantation du bâtiment et selon sa conception globale (étanchéité, ventilation, inertie des matériaux...), il faut faire appel à des professionnels pour décider quelle solution est la plus pertinente et la plus efficace.

Dans un bâtiment passif équipé d'une ventilation mécanique contrôlée avec récupération de chaleur, les besoins en chauffages sont quasi nuls, et un petit chauffage d'appoint peut être envisagé pour les jours les plus froids (poêle). L'accent sera en revanche porté sur la production d'eau chaude sanitaire.

Dans un bâtiment sans ventilation, on peut utiliser des systèmes conventionnels ou innovants, qui permettent à la fois de chauffer le bâtiment (par des radiateurs ou un chauffage au sol) et de produire de l'eau chaude.

Possibilités :

- Les pompes à chaleur : elles prélèvent la chaleur de l'environnement (air, eau ou sol) et la restituent à l'intérieur du bâtiment sous forme d'air ou d'eau chaude. Ces installations fonctionnent sur le même principe en été pour rafraîchir l'intérieur du bâtiment. Elles ont néanmoins des besoins en électricité non négligeables.
- Les réseaux de chaleur résiduelle : gaz de décharges ou de stations d'épuration, chaleur résiduelle des appareils comme les ordinateurs, ou chaleur produite par l'industrie et qui serait de toute façon perdue.

- La géothermie en sous-sol profond, qui nécessite d'importants travaux de forage.
- Les capteurs solaires à eau alimentant soit un plancher solaire direct, soit un ballon de stockage d'eau chaude.
- Des capteurs à air en façade ou sur toiture qui alimentent l'intérieur en air chaud.
- Enfin, le bois peut être brûlé soit en bûches classiques dans un poêle ou une cheminée, soit en granulés ou en plaquettes dans une chaudière adaptée.

Lors du choix du système de chauffage complémentaire, il faut veiller à ce que celui-ci permette aussi de chauffer l'eau sanitaire. Les pertes thermiques étant assez importantes au niveau de la distribution d'eau chaude dans les édifices, il convient de prévoir au mieux le système pour éviter les longueurs de tuyaux favorisant les pertes. Un principe intéressant consiste à placer les tuyaux de telle sorte que les pertes servent de gains internes pour le chauffage.

## 5.2 FOCUS SUR LE BOIS-ÉNERGIE

Le bois est une énergie neutre pour le climat : pendant sa phase de croissance, l'arbre stocke du CO<sub>2</sub> sous forme de composés organiques. Le CO<sub>2</sub> reste fixé dans le bois pendant toute la durée de vie de l'arbre. Lorsque celui-ci meurt, le bois est décomposé par des micro-organismes, et le CO<sub>2</sub> est restitué à l'atmosphère. Le CO<sub>2</sub> libéré se fixe alors dans les arbres avoisinants qui sont encore en vie. Il s'agit donc d'un circuit fermé, neutre sur le plan climatique. Si la combustion du bois raccourcit ce circuit, elle n'en modifie pas pour autant le mécanisme.

Le bois est le plus ancien agent énergétique exploité par l'homme. Il contient 17 fois plus d'énergie que ce qui a été nécessaire pour sa mise à disposition. Étant donné que dans les Alpes, le bois pousse « à notre porte », son utilisation évite de longs transports coûteux et compliqués, et son stockage est simple et sans risque. Les ressources des forêts alpines pourraient être suffisantes, à condition que l'on réduise massivement les besoins en énergie des bâtiments.

Mais la combustion du bois produit aussi ce qu'on appelle les polluants atmosphériques « classiques » comme l'anhydride sulfureux (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO) et les particules fines. À cet égard, les chauffages au bois existants sont souvent moins satisfaisants que les chauffages au mazout ou au gaz.

Le rendement des chaudières à bois anciennes ne dépasse pas les 40 à 50 %. Toutefois il a été nettement amélioré ces dernières années et atteint désormais le niveau des chaudières à mazout ou à gaz.

Du fait de sa teneur élevée en eau, le bois frais brûle incomplètement et possède une valeur calorifique assez faible. Un séchage suffisant et un stockage adéquat du bois de feu sont donc indispensables pour assurer une combustion peu polluante.

Le bois-énergie est polyvalent et donc très confortable pour l'utilisateur. Du poêle pour chauffer une pièce à la chaufferie automatique intégrée au réseau de chauffage à distance en passant par l'appareil à granulés de bois, tout est possible. L'utilisation de bois pour produire de l'énergie thermique peut donc être considérée comme durable si :

- sur le long terme, la quantité de bois utilisée ne dépasse pas celle du bois qui repousse ;
- la production de bois est respectueuse de l'environnement (sylviculture écologique) ;

- le bois coupé est entièrement utilisé (y compris les déchets de bois produits par l'industrie du bois) ;
- la pollution atmosphérique locale est évitée autant que possible grâce à des filtres ;
- la chaudière a un rendement efficace.

5.3

### PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

La palette des sources d'énergie renouvelables permettant de produire de l'électricité écologique est large. Il est recommandé d'utiliser des énergies renouvelables disponibles dans la région, comme l'énergie solaire, hydroélectrique ou éolienne, la géothermie ou la biomasse avec des systèmes de couplage chaleur-force. L'électricité produite peut être utilisée directement, injectée dans le réseau ou stockée en batterie, cette dernière option étant à l'heure actuelle la plus compliquée.

Au niveau d'un bâtiment, les énergies renouvelables privilégiées sont:

#### LE SOLAIRE

Le principe de l'énergie solaire est de convertir la lumière du soleil ou du jour en électricité par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques. Les avantages de l'énergie solaire résident dans les multiples possibilités d'application des éléments photovoltaïques dans le bâti : toitures, murs, balcons... La technique solaire peut toutefois être encore améliorée dans les domaines de la production.

#### L'ÉOLIEN

Le principe de l'éolien est d'utiliser l'énergie du vent pour produire de l'électricité grâce à un dispositif aérogénérateur.

Même si les vents sont relativement faibles dans les Alpes, il est possible d'installer de petites éoliennes individuelles sur les toits, les terrasses ou dans les jardins. L'éolien urbain, utilisant les vents créés par la position des bâtiments, est également en plein essor.

#### Photo 6

Les cellules photovoltaïques sur le toit des maisons n'ont pas d'impact sur le paysage et peuvent donc être installées sur tous les toits des Alpes.



# UNE CONSOMMATION INTELLIGENTE DE L'ÉNERGIE

On estime qu'une meilleure utilisation des bâtiments permettrait d'économiser jusqu'à 20 % de leurs dépenses d'énergie. Même dans les édifices conçus pour être performants, une utilisation rationnelle de l'énergie, un contrôle systématique des consommations et une information des utilisateurs doivent être mis en œuvre.

## UNE CONCEPTION ADAPTÉE À L'USAGE

Lors de la conception de l'efficacité énergétique d'un édifice ou d'une rénovation, il faut tout d'abord identifier les fluctuations « normales » pour trouver des réponses ciblées et intelligentes. Par exemple, une salle de classe avec 25 élèves n'a pas les mêmes besoins en chauffage et en rafraîchissement en journée que la nuit ou durant les vacances. Dans les Alpes, de nombreuses résidences secondaires et lits « froids » sont en réalité chauffés tout l'hiver, alors qu'ils ne sont habités que quelques journées. Par ailleurs, il faut impliquer les utilisateurs pour comprendre leurs habitudes et trouver avec eux des solutions intelligentes d'économies d'énergie. La régulation du chauffage, du rafraîchissement et de la consommation d'électricité par les appareils peut se faire manuellement ou par des systèmes automatiques programmables, même à distance.

## UNE UTILISATION ADAPTÉE

Si le concept énergétique du bâtiment doit intégrer les habitudes des utilisateurs, ces derniers doivent être en mesure d'adopter un comportement adapté à ce concept.

Par exemple : ouverture manuelle des fenêtres en hivers et en été, optimisation des sources de chaleur (appareils ménagers, etc.) en hiver comme en été, contrôle efficace du chauffage et de la ventilation durant les absences, utilisation adaptée des technologies...

Dans les bâtiments publics comme privés, les occupants et gestionnaires doivent pouvoir être informés tout au long de la vie du bâtiment.

## UN CONTRÔLE DES CONSOMMATIONS

Entre les calculs sur papier et la réalité, il peut y avoir des grandes différences de consommation d'énergie !

Tout édifice, neuf ou rénové, doit faire l'objet d'un contrôle de sa consommation énergétique lors de sa mise en route, puis tout au long de sa vie. Si l'on s'aperçoit que la consommation diffère de celle qui était prévue, on devra identifier où se trouvent les problèmes : techniques (thermostat mal ajusté, fuites...) ou d'usage, et trouver des solutions.

### Photo 7

Le centre communal de Lorüns/A, construit en 2012, a fait objet d'un monitoring énergétique dans le cadre du projet MountEE. Un meilleur ajustement de la ventilation et du chauffage fera économiser jusqu'à 30 % d'énergie.



## CONCLUSION

L'énergie utilisée pendant la construction, la rénovation et l'utilisation d'un bâtiment peut être calculée de façon globale et considérablement réduite. Une évaluation globale du bâtiment nécessite de prendre en compte la consommation d'énergie lors de sa fabrication, son fonctionnement et sa démolition. L'énergie grise requise pour la fabrication des matériaux de construction peut en effet être, dans certains cas, aussi importante que l'énergie nécessaire au chauffage d'un bâtiment bien isolé pendant 40 ans. Il existe de nos jours des bâtiments à énergie positive qui produisent, grâce aux apports solaires, plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour leur construction et leur fonctionnement. De tels bâtiments sont aujourd'hui rentables dans les Alpes.

La phase de décision est une étape primordiale pour la mise en œuvre du projet. En effet, les modifications apportées au projet pendant la phase de conception occasionnent peu ou pas de surcoûts alors que la marge de manœuvre lors des phases ultérieures diminue, et le coût des changements augmente d'autant. Pour cette raison, il est nécessaire de définir des objectifs clairs, de prévoir une conception précise et globale, et d'assurer une mise en œuvre compétente.







## SOURCES ET LIENS

### Références :

- « La performance énergétique de bâtiments en bois régional dans les Alpes », 2004, CIPRA
- « Construire et rénover face au changement climatique », 2009, CIPRA
- « L'énergie face au changement climatique », 2009, CIPRA
- baubook, Energieinstitut Vorarlberg

Recherches effectuées par CIPRA International (Carole Piton, Catherine Frick) et les représentations nationales de la CIPRA :

- CIPRA France : Floriane Le Borgne, Jean-Loup Bertez
- CIPRA Italie : Francesco Pastorelli, Giovanni Santachiara
- CIPRA Suisse : Christian Lüthi, Elmar Grosse-Ruse
- CIPRA Allemagne : Stefan Witty
- CIPRA Slovénie : Anamarija Jere, Tomislav Tkalec, Matevž Granda

### Autres liens utiles :

[www.cipra.org/fr/climalp](http://www.cipra.org/fr/climalp)