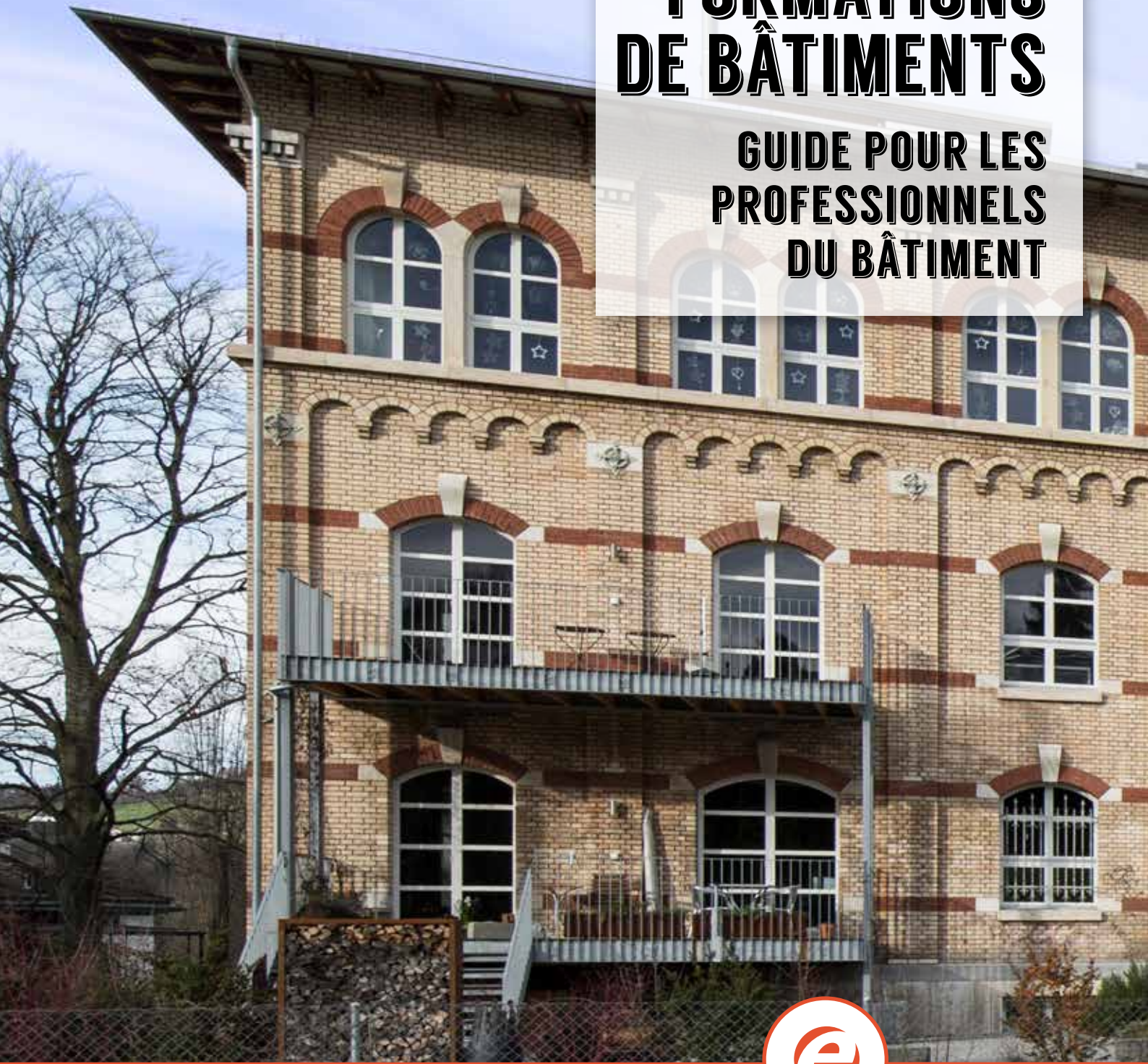


L'ÉNERGIE GRISE DANS LES TRANS- FORMATIONS DE BÂTIMENTS

GUIDE POUR LES PROFESSIONNELS DU BÂTIMENT



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

EnFK

Konferenz Kantonaler Energiefachstellen
Conférence des services cantonaux de l'énergie
Conferenza dei servizi cantonali dell'energia
Conferenza dals posts spezialisads chantunals d'energia

Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau
Durabilité et constructions publiques

**e c o -
b a u**

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- Objectif 4
- Champ d'application 4
- Structure du document..... 4

BASES

- Définition de l'énergie grise 5
- Part d'énergie grise..... 5
- Evaluation 6
- Données de base et méthodes de calcul 6

STRATÉGIE

- Cycles de rénovation des bâtiments 8
- Éléments de stratégie pour la rénovation 8
- Stratégie de rénovation 9

ANALYSE DU BÂTIMENT

- Possibilités d'agrandissement..... 10
- Exigences relatives au bâtiment 10
- Groupes principaux de travaux 11

PROJET DE RÉNOVATION

- Programme de transformation 12
- Installations techniques du bâtiment 13

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

- Paramètres déterminants 15
- Enveloppe 15
- Aménagements intérieurs..... 18

RECOMMANDATIONS

- Les dix points clés 21
- Co-auteurs 22
- Sources 22
- Références bibliographiques 22

INTRODUCTION

Jusqu'à présent, les architectes et planificateurs se sont surtout intéressés à l'enveloppe des bâtiments et à l'énergie nécessaire pour les exploiter. Ils calculaient les besoins de chaleur annuels pour le chauffage, mettaient au point des systèmes d'isolation et jouaient sur les épaisseurs d'isolants. Par conséquent, les bâtiments construits aujourd'hui consomment notablement moins d'énergie de chauffage que ceux érigés il y a seulement quelques années. Cette baisse des besoins en énergie pour le chauffage a permis de soulever d'autres problèmes énergétiques. Les spécialistes se sont intéressés de plus en plus souvent à la consommation globale d'énergie. Or une grande partie de cette consommation est liée à l'énergie grise, c'est-à-dire à celle qui a été nécessaire pour construire le bâtiment, et celle qui sera nécessaire pour le déconstruire.

OBJECTIF

Maintenant que l'énergie grise est mieux prise en compte, il semblait nécessaire d'offrir des supports simples pour son calcul. Ce guide a pour but de présenter de manière compréhensible les principaux paramètres et mécanismes concernant ce calcul. Il veut soutenir les professionnels et leur faciliter l'acquisition des bases nécessaires. Le fait de réduire la quantité d'énergie grise contenue dans un bâtiment permet en général d'en diminuer aussi le coût. Ainsi, tous les partenaires de la construction en bénéficieront, du maître d'ouvrage à l'acheteur ou au locataire, en passant par l'architecte et les autres planificateurs.

Le présent guide s'adresse donc aux professionnels du bâtiment, mais aussi à toute personne ou groupe intéressé par la problématique de l'énergie grise. Il est donc conçu principalement comme aide à la décision visant à réduire l'énergie grise. Il ne prétend cependant pas offrir les bases de calcul permettant de remplir les exigences du cahier technique SIA 2032 «L'énergie grise des bâtiments» (édition 2010).

CHAMP D'APPLICATION

La notion d'énergie grise a déjà été intégrée dans différents labels et standards de construction, avec indication de valeurs limites à ne pas dépasser. Pour les standards MINERGIE®-ECO et MINERGIE®-A, il faut justifier la dépense d'énergie grise. Parallèlement à cela, le cahier SIA 2040 «La voie SIA vers l'efficacité énergétique»

et le certificat de «Site 2000 watts» considèrent l'énergie grise comme un des paramètres les plus importants. Et pour atteindre le Standard de Construction Durable Suisse (SNBS) et obtenir le label correspondant, il faut prouver que l'énergie grise du bâtiment reste limitée.

STRUCTURE DU DOCUMENT

Le présent guide est structuré de la manière suivante:

- Bases
- Stratégie
- Analyse du bâtiment
- Projet de rénovation
- Matériaux et techniques de construction
- Recommandations

Cette articulation en chapitres permet de traiter les quatre étapes principales de la conception d'un bâtiment, à savoir: déterminer la stratégie de rénovation, analyser l'objet, établir un projet détaillé et réaliser l'ouvrage. Les explications fournies ici permettront au lecteur de mieux comprendre les mécanismes à respecter et les démarches à suivre pour tenir compte de l'énergie grise. Le dernier chapitre rassemble en dix points l'essentiel des recommandations et permet au professionnel de passer rapidement en revue les possibilités d'optimiser la consommation d'énergie grise.



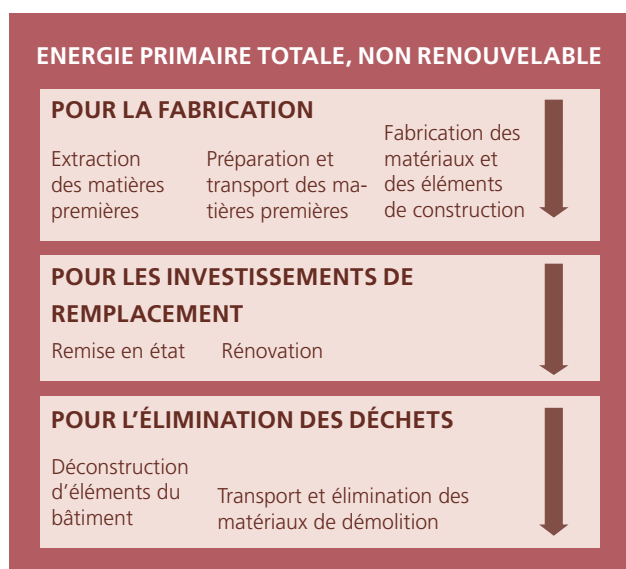
Le présent guide fait partie d'une série de publications sur l'énergie grise, dont notamment les documents suivants:

- L'énergie grise dans les nouveaux bâtiments
Guide pour les professionnels du bâtiment
- L'énergie grise dans les nouveaux bâtiments
Notice pour les maîtres d'ouvrage
- L'énergie grise dans les transformations de bâtiments
Guide pour les professionnels du bâtiment
- L'énergie grise dans les transformations de bâtiments
Notice pour les maîtres d'ouvrage

POUR BIEN COMPRENDRE COMMENT TENIR COMPTE AU MIEUX DE L'ÉNERGIE GRISE LORS DE TRANSFORMATIONS DE BÂTIMENTS, IL EST NÉCESSAIRE DE DISPOSER DE CERTAINES BASES.

DÉFINITION DE L'ÉNERGIE GRISE

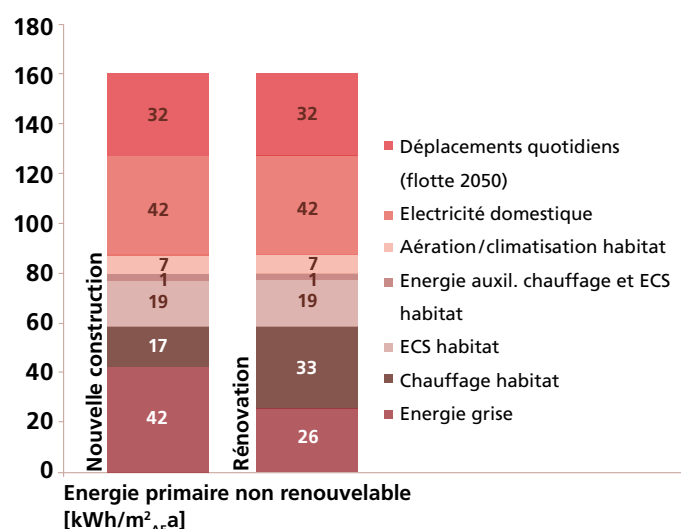
La notion d'énergie grise comprend toute l'énergie primaire non renouvelable qu'il a fallu dépenser au cours des différentes étapes de fabrication, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la déconstruction du bâtiment et l'élimination des déchets de chantier, en passant par tous les processus de fabrication et de traitement, y compris les transports et le recours à d'autres moyens auxiliaires. L'énergie grise est aussi parfois appelée consommation énergétique cumulée, non renouvelable. L'unité de mesure de l'énergie grise est le kilowattheure par m² et par an (kWh/m²a). L'énergie grise est donc rapportée à une surface et à un temps donnés, ce qui permet de la comparer à l'énergie d'exploitation. Ce guide se base sur deux grandeurs courantes: la surface de référence énergétique (SRE ou AE selon la norme SIA 380, 2015: «Bases pour les calculs énergétiques des bâtiments»), ainsi que la durée d'amortissement (CT SIA 2032).



Le graphique illustre les limites du système pour le calcul de l'énergie grise. L'exploitation et la maintenance d'un bâtiment n'entrent pas dans ce calcul. En général, on néglige le transport vers le chantier ainsi que l'énergie nécessaire à l'exploitation du chantier.

PART D'ÉNERGIE GRISE

Dans les bâtiments construits actuellement, l'énergie grise représente jusqu'à un quart de toute l'énergie primaire nécessaire pour la fabrication et l'exploitation de l'objet, ainsi que pour les déplacements des utilisateurs (mobilité). Le graphique ci-dessous représente deux bâtiments d'habitation collectifs comparables. A g. un nouveau bâtiment; à d. un bâtiment rénové d'après le standard Minergie.



On remarque que les seules différences portent sur le chauffage des logements et sur l'énergie grise. Lorsque l'on rénove un bâtiment, on dépense moins d'énergie grise que lorsqu'on construit un bâtiment neuf. Cela tient au fait qu'en cas de rénovation, on ne comptabilise que l'énergie grise additionnelle, nécessaire pour les travaux de modernisation. Par exemple, on ne compte pas l'énergie nécessaire pour construire la structure porteuse du bâtiment, que l'on conserve et que l'on considère donc comme amortie (cf. p. 7). Par contre, on voit que l'énergie nécessaire pour le chauffage est plus élevée dans le cas d'une rénovation, résultat d'un compromis sur l'isolation de l'enveloppe.

ÉVALUATION

L'énergie grise ne représente qu'une partie de l'évaluation de l'écobilan. Dans le cahier technique CT 2040: La voie SIA vers l'efficacité énergétique, 2011, on tient aussi compte des émissions de gaz à effet de serre, que l'on peut calculer. Certaines autres publications se fondent sur la notion d'unités de charge écologique (UCE), qui rendent compte d'une évaluation globale de l'impact d'un ouvrage sur l'environnement. En Suisse, on se base sur les Données des écobilans dans la construction 2009/1, 2014.

Si l'on examine un produit à la fois sous l'angle de son énergie grise, des gaz à effet de serre qu'il génère et des unités de charge écologique, il peut arriver que les résultats des différentes analyses ne se recoupent pas entièrement. En effet, les indicateurs sont le reflet de différents points de vue. Ainsi, il se peut qu'un produit contenant peu d'énergie grise soit mal classé dans l'échelle des unités de charge écologique, ou qu'il émette une quantité importante de gaz à effet de serre. Toutefois, l'énergie grise reste un bon étalon pour mesurer la qualité écologique d'un mode de construction.

ÉNERGIE PRIMAIRE NON RENOUVELABLE [kWh]

Energie primaire prélevée à une source susceptible de s'épuiser par l'extraction; exemples: uranium, pétrole brut, gaz naturel, charbon.

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE [KG]

La notion d'émissions de gaz à effet de serre désigne l'impact cumulé de différents gaz émis dans l'atmosphère et contribuant au réchauffement climatique (CO₂, méthane, protoxyde d'azote [gaz hilarant] ou autres). Ils sont rapportés à la substance de référence (CO₂) et sont donc exprimés en kg ou tonnes d'équivalent-CO₂ – c'est-à-dire dont l'effet cumulé sur le climat est comparable à la quantité de CO₂.

UNITÉS DE CHARGE ÉCOLOGIQUE (UCE)

Les impacts sur l'environnement mesurés en termes d'UCE rendent compte de l'exploitation des ressources énergétiques, de l'utilisation de terrain et d'eau douce, des émissions rejetées dans l'air, dans les eaux et dans les sols, ainsi que de l'élimination des déchets. Les unités de charge écologique sont aussi connues comme unités de mesure dans la méthode dite «de saturation écologique», qui permet d'illustrer d'une manière globale les effets sur l'environnement. Cette méthode est basée sur la politique environnementale suisse. Les UCE suisses ne sont pas comparables aux UCE utilisés dans d'autres pays européens.

DONNÉES DE BASE ET OUTILS DE CALCUL

De nouvelles règles et de nouveaux instruments ont été mis au point pour faciliter la gestion de l'énergie grise et pour créer une base de travail uniformisée. Les architectes et planificateurs disposent ainsi de bases de calcul facilitant leur tâche.

CAHIER TECHNIQUE SIA 2032

Le cahier technique SIA 2032, intitulé «L'énergie grise des bâtiments» a pour but d'uniformiser les modalités de calcul de l'énergie grise, ainsi que les sources de données utilisées. Seule une telle uniformisation permet de comprendre, de comparer et de reproduire des situations. Ce cahier s'adresse en priorité aux planificateurs et aux architectes. Il permet de faire entrer la problématique de l'énergie grise déjà au stade du projet. Il a pour ambition d'inciter plus de professionnels à intégrer ces réflexions dans leur pratique, en simplifiant les outils de travail. Il traite autant de nouvelles constructions que de rénovations, que ce soit au niveau de bâtiments entiers ou de leurs différents éléments de construction. L'énergie grise rend compte de l'ensemble des processus à l'œuvre pour construire un bâtiment ou un élément de bâtiment, à savoir: construction, investissements de remplacement, et élimination des déchets. Elle tient compte des différents délais d'amortissement, variables d'un élément de construction à l'autre. S'agissant de la durée d'utilisation et du délai d'amortissement, on distingue les notions suivantes:

Durée d'utilisation

Intervalle de temps écoulé entre la mise en service et le remplacement probable d'un élément de construction ou d'installation.

Délai (ou durée) d'amortissement

Période pendant laquelle l'énergie grise nécessaire pour la construction du bâtiment ou l'élimination des déchets est amortie.

DONNÉES DE BASE

Sous le nom de «Données des écobilans dans la construction», la Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB) a édité les données de base permettant de calculer l'énergie grise. Il s'agit de données retraitées provenant de la plateforme électronique *ecoinvent* développée par l'Empa et l'EPFZ. Ces données permettent de calculer non seulement l'énergie grise, mais aussi l'énergie primaire totale, les émissions de gaz à effet de serre et les unités de charge écologique des matériaux de construction les plus courants, ainsi que des systèmes techniques et de leurs éléments.

CALCUL D'UNE COUCHE DE MATÉRIAU

Exemple: isolation d'une dalle de rez-de-chaussée sur cave non chauffée; l'énergie grise est calculée par m² et par année. Voici les données techniques:

- Laine de pierre 14 cm
- Masse volumique apparente: 90 kg/m³
- Energie grise 4,28 kWh/kg (KBOB)
- Volume: 1,0 m · 1,0 m · 0,14 m = 0,14 m³/m²_{SEC}
- Durée d'amortissement: 30 a (SIA 2032)

Etape 1

Calcul de la masse par unité de surface (densité) de l'élément de construction (SEC):

$$90 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2_{\text{SEC}} = 12,6 \text{ kg/m}^2_{\text{SEC}}$$

Etape 2

Calcul de l'énergie grise d'un m² d'élément:

$$4,28 \text{ kWh/kg} \cdot 12,6 \text{ kg/m}^2_{\text{SEC}} = 53,9 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}}$$

Etape 3

Calcul de l'énergie grise par m² d'élément de construction et par an:

$$53,9 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} : 30 \text{ a} = 1,79 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} \cdot \text{a}$$

Le panneau isolant contient 1,8 kWh/m²_{SEC} a d'énergie grise.

CALCUL AU NIVEAU DE L'ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION

Cet exemple porte sur une isolation a posteriori de la dalle du rez-de-chaussée. L'énergie grise de toute nouvelle couche posée dans le cadre d'une rénovation est calculée d'après le principe énoncé ci-dessus, puis additionnée. Par contre, on ne tient pas compte de l'énergie grise contenue dans un élément existant. Si l'on isole la dalle du rez par une couche de laine de pierre de 14 cm d'épaisseur, l'élément de construction voit son énergie grise augmenter de 1,8 kWh/m²_{SEC} a. Par ailleurs, l'isolant est protégé par un panneau d'aggloméré:

Dans cet exemple, on a négligé la part d'énergie grise du système de fixation des panneaux isolants et des panneaux d'aggloméré.

- Panneau d'aggloméré 19 mm
- Masse volumique apparente: 680 kg/m³
- Energie grise: 2,5 kWh/kg (KBOB)
- Volume: 1,0 m · 1,0 m · 0,019 m = 0,019 m³/m²_{SEC}
- Durée d'amortissement: 30 ans (SIA 2032)

Etape 4

Le calcul de la succession des matériaux est expliqué aux étapes 1 à 3:

$$680 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,019 \text{ m}^3/\text{m}^2_{\text{SEC}} \cdot 2,5 \text{ kWh/kg} : 30 \text{ a} = 1,08 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} \cdot \text{a}$$

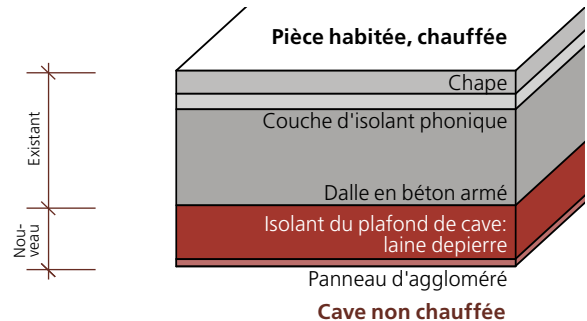
Le panneau d'aggloméré contient 1,1 kWh/m²_{SEC} a d'énergie grise.

Etape 5

Somme des différentes couches:

$$\text{Isolant } 1,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} \cdot \text{a} + \text{panneau d'aggloméré } 1,08 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} \cdot \text{a} = 2,88 \text{ kWh/m}^2_{\text{SEC}} \cdot \text{a}$$

En tant qu'élément de construction, la dalle du rez contient donc 2,9 kWh/m²_{SEC} a d'énergie grise. Si l'on recouvre la couche d'isolant d'un panneau d'aggloméré, l'énergie grise cumulée de l'élément de construction augmente donc de moitié.



Le concepteur est invité à réfléchir à la nécessité de chaque nouvelle couche de matériau, car cette dernière augmente notablement le bilan d'énergie grise de l'élément de construction considéré.

CALCUL AU NIVEAU DU BÂTIMENT DANS SON ENSEMBLE

En premier lieu, on multiplie l'énergie grise (EG) de chaque élément de construction EC [kWh/m²_{SEC}a] par sa surface [m²_{SEC}] puis on additionne tous les produits. Afin de pouvoir comparer différents bâtiments, on divise encore cette somme par la surface de référence énergétique A_E [m²_{AE}].

Etape 6

$$\left[\sum (EC_1 \cdot SEC_1 + EC_2 \cdot SEC_2 + \dots + EC_n \cdot SEC_n) \right] : A_E = EG \text{ [kWh/m}^2_{\text{AE}} \cdot \text{a]}$$

Le CT SIA 2032 procède aussi à des simplifications (notamment l'abandon de certains éléments de construction). Il définit aussi la durée d'amortissement des divers éléments de construction, ce qui permet de comparer entre eux différents bâtiments.



Références bibliographiques

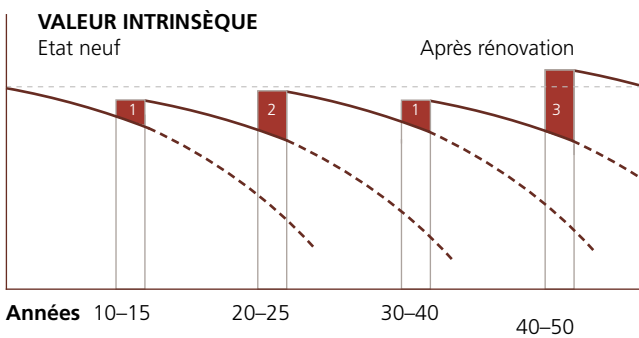
- Energie grise des bâtiments. Cahier technique SIA 2032, 1re édition 2010, correctifs 2013
- La voie SIA vers l'efficacité énergétique. Cahier technique SIA 2040, 2011
- Données des écobilans dans la construction 2009/1, 2014, Bases pour les calculs énergétiques des bâtiments. SIA 380: 2015

STRATÉGIE

TOUTE PERSONNE SOUHAITANT PLANIFIER AVEC DISCERNEMENT LES CYCLES DE RÉNOVATION DE SON BÂTIMENT DOIT ENVISAGER DE FAIRE LE POINT À INTERVALLES RÉGULIERS. EN SE BASANT SUR UNE ANALYSE DE L'ÉTAT DU BÂTIMENT ET DU POTENTIEL DE COMMERCIALISATION, ELLE POURRA DÉTERMINER UNE STRATÉGIE DE RÉNOVATION ADÉQUATE.

CYCLES DE RÉNOVATION DES BÂTIMENTS

Tous les bâtiments ainsi que leurs éléments, subissent un processus de vieillissement naturel. Si le bâtiment est laissé à lui-même, sans être rénové, sa valeur marchande diminue au cours du temps. Le graphique ci-dessous illustre le rapport entre les mesures de rénovation et la valeur intrinsèque du bâtiment.



Le graphique montre que, pour atteindre à nouveau la valeur intrinsèque antérieure du bâtiment, le coût de la rénovation augmente (1). Suivant le degré de rénovation, la valeur intrinsèque du bâtiment rénové peut être plus élevée ou moins élevée que sa valeur au moment de sa construction.

Maintien de la valeur (1)

Après 10 ou 15 ans, les premières mesures de rénovation s'imposent: remplacement des moquettes, rafraîchissement des murs.

Rénovation partielle (2)

Après 20 ou 25 ans, il est nécessaire de procéder à des opérations de rénovation importantes: rénovation des cuisines et des sanitaires, remplacement de certains aménagements intérieurs, remplacement de certains éléments de l'enveloppe, modernisation des installations techniques.

Rénovation totale (3)

Enfin, au bout de 40 à 50 ans, il est nécessaire d'entreprendre une rénovation totale de l'enveloppe, des installations techniques et des aménagements intérieurs.

ÉLÉMENTS DE STRATÉGIE POUR LA RÉNOVATION

Lors de la rénovation d'un bâtiment, il est utile de disposer de données de base stratégiques pour déterminer l'importance des

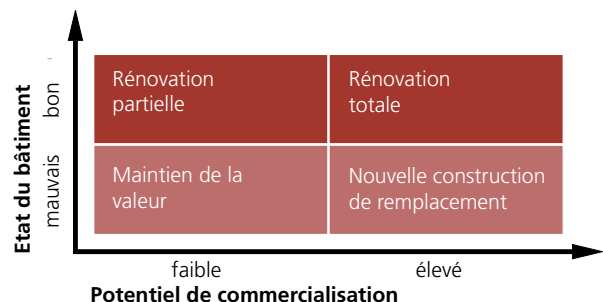
travaux à effectuer et le montant des investissements à consentir. Ces données permettent de se faire une idée précise de l'état du bâtiment et d'identifier les conditions générales dans lesquelles se déroulera l'opération, ces deux éléments étant liés.

ANALYSE DE L'ÉTAT DU BÂTIMENT

Pour obtenir une première image de l'état général du bâtiment, on compare la durée d'utilisation standard des différents éléments de construction ou des parties d'installations avec la période pendant laquelle ils ou elles sont déjà en service. Pour ce faire, on se base sur le cahier technique SIA 2047 «Rénovation énergétique des bâtiments», 2015. Les autres critères d'évaluation peuvent être, par exemple, le niveau de la consommation d'énergie, l'état de l'enveloppe, la dimension des logements, la grandeur et la répartition des pièces, ainsi que le standard de confort des agencements intérieurs. En tenant compte de tous ces critères, il est possible d'avoir une idée assez précise de la qualité du bâtiment à rénover.

POTENTIEL DE COMMERCIALISATION

L'autre gamme de critères pouvant influencer la stratégie de rénovation porte sur les conditions générales dans lesquelles le bâtiment s'inscrit, ainsi que le potentiel de développement de ce dernier. On analysera sa situation géographique, la vue depuis le site, le degré d'équipement et les possibilités d'approvisionnement, ce qui permet d'évaluer son intérêt commercial. Par ailleurs, le règlement des constructions donne des indications sur le potentiel d'utilisation et d'agrandissement du bâtiment.



En établissant la relation entre l'état du bâtiment et le potentiel de commercialisation de ce dernier, une telle matrice permet de se faire une première idée de l'importance de la rénovation à entreprendre.

STRATÉGIE DE RÉNOVATION

Les données de base récoltées et analysées permettent ensuite de définir une stratégie de rénovation raisonnable, bien adaptée au bâtiment. L'architecte tiendra compte des cycles de rénovation du bâtiment, des qualités intrinsèques de l'ouvrage et de la valeur du bâtiment sur le marché immobilier pour fixer les grandes lignes de la rénovation.

RÉNOVATION PAR ÉTAPES

Pour atteindre l'objectif de rénover son bâtiment le plus rationnellement possible, il est nécessaire de respecter certaines étapes. Si l'on néglige de rénover les parties du bâtiment qui ont atteint ou dépassé leur durée d'utilisation reconnue, on prend le risque de voir son immeuble perdre de sa valeur intrinsèque (cf. graphique p. 8). Il peut même arriver, dans le pire des cas, que l'immeuble subisse des dommages. A l'inverse, si l'on remplace des éléments du bâtiment avant l'échéance de leur durée d'amortissement, on dépense plus d'énergie grise que nécessaire.

IMPORTANCE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION

Pour chaque mesure de rénovation envisagée, l'architecte doit se poser la question de l'importance de son intervention: faut-il se limiter à une remise en état de l'existant ou faut-il combiner la rénovation avec une augmentation du niveau de confort des logements? Si oui, dans quelle mesure? Il va de soi que la décision se basera sur des critères économiques, mais elle aura aussi un impact direct sur la quantité d'énergie grise consommée. Le présent guide propose de classer les travaux de rénovation en quatre catégories, suivant leur importance:

Maintien de la valeur

Si l'état du bâtiment laisse à désirer mais que le potentiel de commercialisation est faible, les travaux de rénovation viseront seulement à maintenir le niveau de confort actuel des logements, en respectant le cadre légal existant.

Rénovation partielle

Si l'architecte prévoit de combiner les mesures de maintien de la valeur avec quelques interventions plus importantes sur la structure du bâtiment, on parle de rénovation légère. Il cherchera en général à atteindre au moins le standard Minergie.

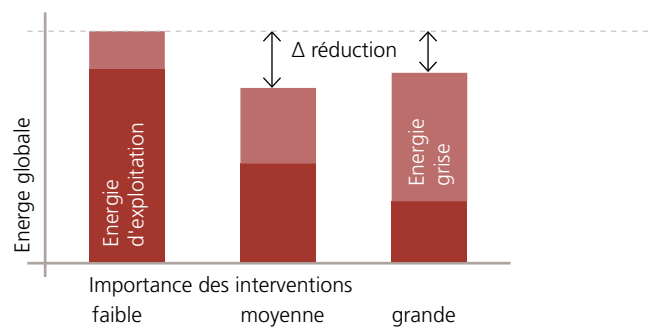
Rénovation totale

Si le propriétaire souhaite augmenter sensiblement la valeur de son immeuble, les interventions seront le plus souvent assez lourdes, avec des modifications de la structure même du bâtiment. Ici également, l'architecte visera le standard Minergie.

Nouveau bâtiment de remplacement

Si l'état du bâtiment, notamment sa structure, ne permet pas d'envisager une rénovation à la hauteur des attentes, il faut peut-être envisager de reconstruire un nouveau bâtiment à la place de l'ancien. Cela n'a de sens que s'il satisfait aux exigences d'un des standards Minergie les plus exigeants, ou d'un autre standard comparable.

Le graphique ci-dessous illustre la manière dont évolue l'énergie grise en fonction de l'importance des interventions de rénovation. Des travaux importants font baisser l'énergie d'exploitation, mais font augmenter la dépense d'énergie grise. Si les objectifs de rénovation sont fixés avec discernement, il est possible de réduire la consommation globale d'énergie.



Une stratégie de rénovation optimale permet de réduire au mieux la consommation globale d'énergie.

COÛTS

Comme indiqué à la page 7, à propos du calcul de l'énergie grise, chaque couche de matériau additionnelle et chaque nouvel élément de construction alourdit la «facture» d'énergie grise. En d'autres termes: la quantité d'énergie grise donne des indices quant au coût de la rénovation. On peut donc en conclure qu'une stratégie de rénovation raisonnable sur le plan financier aura pour effet de limiter la dépense d'énergie grise.



Références bibliographiques

- Rénovation énergétique des bâtiments, CT SIA 2047, 2015
- Rénovation énergétiquement correcte des immeubles locatifs - recommandations pour la rénovation stratégique des bâtiments, SuisseEnergie, 2014
- Edition Faktor «Gesund und ökologisch bauen mit Minergie®-ECO», 2015

ANALYSE DU BÂTIMENT

L'OBJECTIF DE CE CHAPITRE EST DE SE CONCENTRER SUR LES POINTS FAIBLES DU BÂTIMENT, AINSI QUE SUR LES POINTS STRATÉGIQUES SUSCEPTIBLES DE DÉGAGER DES POTENTIELS SUPPLÉMENTAIRES.

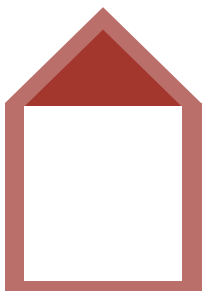
L'analyse du bâtiment débouche sur deux constats: les possibilités d'agrandir les locaux, et les points faibles du bâtiment existant. Le projet détaillé de rénovation sera basé sur ces données ainsi que sur la stratégie définie au préalable.

POSSIBILITÉS D'AGRANDISSEMENT

Environ un tiers de l'énergie grise est contenue dans la structure du bâtiment (gros-œuvre). C'est la raison pour laquelle il s'agit d'adapter la stratégie de rénovation à cette réalité. Si l'intervention architecturale touche à cette structure, le bâtiment perd sa contre-valeur en termes d'énergie grise (cf. graphique p. 11). Pour agrandir un bâtiment existant, il vaut beaucoup mieux ne pas toucher à sa structure et prévoir des extensions.

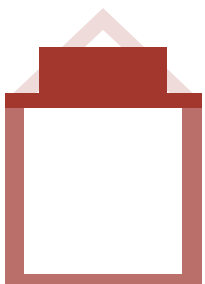
COMMENT AGRANDIR UN BÂTIMENT EXISTANT

Les dispositions légales permettant d'agrandir un bâtiment sont fixées dans le règlement des constructions. C'est dans ce cadre qu'il est possible d'envisager différents moyens d'agrandir l'espace habitable.



Transformation d'espaces existants

Sans modifier la surface au sol du bâtiment, il est possible d'agrandir la surface utile, notamment en aménageant les combles ou en convertissant certains locaux annexes au sous-sol en espaces habitables.

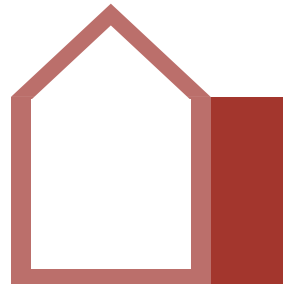


Surélévations

En remplaçant un toit traditionnel à 2 ou 4 pans par un étage supplémentaire en attique, on agrandit la surface habitable d'une manière très attractive. En effet, de tels logements sont souvent équipés d'une grande terrasse.

Extensions / annexes accolées

Il est possible d'augmenter la surface utile en prolongeant le bâtiment sur l'une de ses faces. De telles extensions permettent d'agrandir un logement, de réorganiser la cuisine ou la salle de bain, d'ajouter un balcon ou une véranda, ou encore d'installer un nouvel ascenseur.



Il vaut la peine d'analyser attentivement le règlement de construction pour savoir s'il favorise une densification de l'espace bâti. Si tel est le cas, on peut envisager de rajouter tout un étage et de coiffer le bâtiment d'un logement en attique. Si le bâtiment existant n'exploite pas toutes les possibilités de construire admises dans le règlement de construction, on pourra envisager une démolition-reconstruction. Le bâtiment de remplacement, construit selon les nouveaux standards plus exigeants, permettra de loger un plus grand nombre de personnes sur le même bien-fonds.

EXIGENCES RELATIVES AU BÂTIMENT

Beaucoup d'eau a coulé sous les ponts depuis l'époque de la construction d'un bâtiment à rénover aujourd'hui: les normes sociales relatives au logement sont devenues beaucoup plus exigeantes; les installations techniques ont fortement évolué; les critères environnementaux sont devenus plus présents; les exigences légales sont plus sévères. Il arrive souvent que les éléments de l'ancienne construction soient devenus obsolètes. En voici quelques exemples:

- Niveau de confort insuffisant: présence de courants d'air, parois froides, pas de renouvellement d'air suffisant, qualité de l'air intérieur déficiente.
- Isolation phonique insuffisante: bruit de choc, bruit solidien, bruit aérien, bruit du trafic, bruit ambiant.
- Obsolescence des installations techniques: système d'aération, installations sanitaires, installations électriques, ascenseur.
- Grandeur insuffisante des pièces: séjour, cuisine, coin à manger, locaux sanitaires.
- Prescriptions légales plus sévères en matière d'énergie, de sécurité sismique, d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

Quels sont les éléments encore supportables, lesquels sont vraiment dérangeants? Les locaux se prêtent-ils encore à la location ou à la vente? Si les exigences des clients peuvent être encore relativement satisfaites avec le bâtiment tel qu'il est aujourd'hui, les interventions de rénovation seront mesurées. En revanche, il n'est pas envisageable de transiger avec les prescriptions légales.

GROUPES PRINCIPAUX DE TRAVAUX

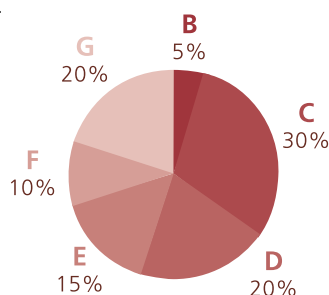
Comme indiqué en page 9, la dépense d'énergie grise augmente avec l'importance des interventions de rénovation. Si l'architecte est au courant de la manière dont l'énergie grise se répartit entre les différents éléments de construction, il peut orienter ses interventions de manière à minimiser la quantité d'énergie grise utilisée.

PART D'ÉNERGIE GRISE

Le code CRB des coûts de construction pour le bâtiment (CCC-Bât 2012) subdivise les opérations de constructions dans les groupes principaux suivants, avec indication de leur durée d'amortissement:

- B: Travaux préparatoires
- C: Gros-œuvre 40–60 ans
- D: Installations 20–30 ans
- E: Revêtements de façades et de murs contre terre 30–40 ans
- F: Toitures 30–40 ans
- G: Aménagements intérieurs env. 30 ans

Des études ont permis de déterminer, pour les nouvelles constructions, la part d'énergie grise que représente chacun de ces groupes principaux de travaux (pour les rénovations, cette répartition n'est pas connue).



Elles ont conclu qu'un tiers de l'énergie grise était dépensée dans le gros-œuvre (groupe C). Comme indiqué à la page 10 pour les possibilités d'agrandissement, c'est dans la structure du bâtiment que se niche la plus grande contre-valeur d'énergie grise; c'est donc dans le gros-œuvre qu'il faut agir avec le plus de délicatesse, et qu'il vaudrait mieux conserver la structure existante. Si l'architecte qui a conçu le bâtiment a pris soin de traiter de manière distincte les éléments des différents groupes, les éléments de durée de vie moins longue seront facilement remplaçables.

CRITÈRES PRINCIPAUX

Ci-après sont passés en revue ces groupes de travaux. Les points principaux de l'analyse sont énoncés, et les conclusions spécifiques, présentées.

B: Travaux préparatoires

Lors d'une opération de rénovation, il n'est plus nécessaire de revenir sur certains travaux qui avaient été exécutés au moment de la construction du bâtiment, notamment tous les travaux d'excavation.

C: Gros-œuvre

L'architecte identifie la structure primaire du bâtiment, l'exploite dans la mesure des possibilités, la complète si nécessaire, et vérifie dans quelle mesure cette structure peut supporter des charges supplémentaires.

D: Installations

Il s'agit de vérifier l'état et les performances des conduites d'approvisionnement et des canalisations d'évacuation, ainsi que du réseau électrique, puis d'envisager leur rénovation dans une mesure raisonnable, en se souvenant que leur durée d'amortissement est relativement brève.

E: Revêtements de façades et de murs contre terre

L'architecte vérifie la durée d'amortissement des matériaux de façade et évalue la qualité des couches isolantes existantes. Il ne doit pas considérer uniquement les besoins en énergie pour le chauffage, mais comparer l'énergie primaire non renouvelable nécessaire pour le chauffage avec l'énergie grise qui serait nécessaire pour améliorer la situation (cf. pp. 13 et 14). Par exemple, la pose de nouvelles fenêtres apporte des améliorations significatives par rapport aux anciennes fenêtres. Leur remplacement se justifie donc en général – d'autant plus que, comme dans le cas précédent, leur durée d'amortissement est relativement brève.

F: Toitures

La durée d'amortissement d'un toit est déterminée principalement par celle des matériaux de couverture.

G: Aménagements intérieurs

Le choix entre remplacement ou conservation des éléments anciens est surtout une question d'esthétique. On comprend par aménagements intérieurs à la fois les meubles encastrés, les revêtements de sols, les traitements de surfaces de parois ou de plafonds, etc. Il ne faut pas oublier que ce sont justement ces aménagements qui font souvent le charme des anciens bâtiments.



Références bibliographiques

- interact, Hochschule Luzern, Technik und Architektur Die Typologie der Flexibilität im Hochbau, 2008
- CRB Code des coûts de construction, 2012

PROJET DE RÉNOVATION

SUR LA BASE DE L'ANALYSE DU BÂTIMENT, L'ARCHITECTE CONÇOIT UN PROJET DE RÉNOVATION EN RESPECTANT LA STRUCTURE EXISTANTE ET EN PROPOSANT UN PROGRAMME DE TRANSFORMATION RAISONNABLE.

Le projet de rénovation s'appuie, d'une part, sur les résultats de l'analyse du bâtiment, d'autre part, sur la stratégie choisie. Il traite à la fois du bâtiment et de ses structures spatiales, ainsi que de ses installations techniques. Ces dernières complètent les apports de l'enveloppe et permettent de réguler activement l'atmosphère intérieure.

PROGRAMME DE TRANSFORMATION

Si l'on ne considère que les mesures destinées à maintenir la valeur du bâtiment, ce dernier reste presque inchangé dans sa conception générale. Si, au contraire, l'architecte a prévu, dans sa stratégie, de procéder à une rénovation partielle ou globale, avec des interventions moyennes à lourdes, il est probable qu'il envisage de toucher à la structure même du bâtiment. A ce moment-là, il doit savoir qu'il alourdit sensiblement la «facture» d'énergie grise, et qu'il peut, dans le cadre légal, gérer cette consommation par le choix des mesures qu'il préconise. Le deuxième volet d'un programme de transformation concerne les mesures destinées à augmenter la valeur du bâtiment en s'alignant sur le marché immobilier local. Le bilan d'énergie grise dépend étroitement de l'étendue de ce programme de transformation.

TRANSFORMATION D'ESPACES EXISTANTS

Comme on vient de le voir, les transformations simples devraient toucher le moins possible la structure porteuse du bâtiment. Seules les cloisons non porteuses devraient être supprimées ou déplacées pour réaménager les logements. Lorsqu'il est prévu de modifier la disposition des entrées du bâtiment ou l'affectation du rez-de-chaussée, la question du report des charges verticales peut constituer un véritable défi pour l'architecte. Les mêmes questions se posent lors du réaménagement des combles pour y faire des logements. Les autres problématiques habituelles des transformations sont l'optimisation du plan des logements et l'agrandissement des pièces. Il est possible de limiter beaucoup la dépense d'énergie grise en prenant des décisions sensées, basées sur une analyse fine du bâtiment, notamment lors du traitement des locaux sanitaires et des cuisines. La rénovation de ces espaces offre une large gamme de solutions: par exemple, il est possible de rationaliser les écoulements en les réunissant dans des gaines verticales accessibles en

tout temps, ce qui permet en outre de mieux les isoler phoniquement. En pareil cas, l'architecte peut également surdimensionner les gaines pour permettre des adjonctions de conduites dans le futur. Le chapitre suivant (à partir de la p. 15) traitera des autres champs d'intervention à disposition de l'architecte (Matériaux et techniques de construction).

Lors de transformations, le maître d'ouvrage a souvent le désir de rajouter un ascenseur. Une telle intervention bouscule en général en profondeur la structure même du bâtiment, pouvant entraîner d'importantes réductions de surfaces utiles. Elle conduit également à une consommation massive d'énergie grise, si l'on compte toutes les mesures d'accompagnement nécessaires. Pour autant qu'elle soit compatible avec le plan du bâtiment, la solution de placer la nouvelle cage d'ascenseur à l'extérieur du bâtiment permet de réduire significativement la dépense d'énergie grise.

SURÉLEVATIONS

L'adjonction d'un étage en attique permet de comprendre comment les différents facteurs se combinent pour aboutir à un certain bilan d'énergie grise. Des études ont montré que ce n'est pas le choix entre construction lourde ou légère qui est le critère déterminant, mais ce sont toutes les mesures d'accompagnement: par exemple, si l'ajout d'un étage nécessite le renforcement de la structure porteuse de tout le bâtiment pour supporter les charges supplémentaires, le bilan d'énergie grise est lourdement grevé.

EXTENSIONS OU ANNEXES ACCOLÉES

Si la stratégie de rénovation vise à la fois à conserver les structures existantes et à agrandir les surfaces utiles, la solution de rajouter un élément construit – ouvert ou fermé – au bâtiment existant permet de nombreuses variations de programme. Le règlement des constructions est plus ou moins restrictif à ce sujet, notamment en fonction de l'affectation prévue des espaces supplémentaires ainsi créés.

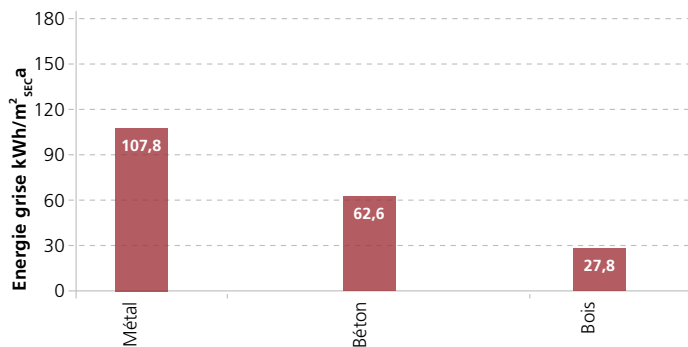
Si ce règlement autorise une telle adjonction, le nouvel espace ainsi créé permettra soit d'étendre la surface des pièces habitables, soit de réaménager la cuisine, soit encore d'installer de nouveaux locaux sanitaires. Il va de soi que le nouveau corps de bâtiment devra respecter les standards énergétiques d'un bâtiment neuf, de

manière à optimiser la consommation globale d'énergie. Par contre, il ne serait pas raisonnable de déplacer toutes les zones de circulation dans le nouveau corps de bâtiment, car il faudrait alors, vraisemblablement toucher à la structure du bâtiment, ce qui est contraire à l'objectif de réduire la dépense d'énergie grise.

La question des balcons s'apparente à celle d'une cage d'ascenseur extérieure, car elle modifie l'aspect général du bâtiment, affichant clairement l'augmentation du niveau de confort. Il s'agit de considérer les balcons comme une construction modulaire annexe sur plusieurs étages superposés, en béton, en bois ou en métal, détachée de la façade.

Remarques concernant le calcul: pour ces trois modes de construction, les fondations sont comparables, mais les systèmes de garde-corps peuvent être différents. Afin de permettre la comparaison entre ces trois modes de construction, ces deux éléments ont été exclus du calcul. Autre élément non représenté: le sol des balcons. La solution en béton est la seule qui le comprend. Tant pour la construction en métal que pour celle en bois, il faudrait rajouter l'énergie grise nécessaire pour réaliser cet élément, selon une technique spécifique au mode de construction.

BALCONS:



Les balcons sont un bon exemple pour illustrer l'influence du choix des matériaux et des techniques de construction sur le bilan d'énergie grise.

Le graphique fait apparaître des différences significatives entre les modes de construction. Même s'il faut rajouter à la solution bois un plancher en lames de bois sur solives, on voit que les solutions bois et béton sont de loin moins voraces en énergie grise que la construction en métal.

INSTALLATIONS TECHNIQUES DU BÂTIMENT

Le but premier des installations du bâtiment est d'assurer le confort des habitants dans les pièces à vivre, tout au long de l'année. Au nord des Alpes, il s'agit traditionnellement d'assurer le chauffage des habitations (maintien de la température intérieure en hiver), de

fournir l'eau chaude et froide dans les locaux sanitaires, de réaliser les écoulements et d'équiper en électricité les différentes pièces (courant 220 V, câble multimédia). Une discipline assez nouvelle, qui prend de plus en plus d'importance surtout dans la construction neuve, est la ventilation (ou l'aération) qui assure la qualité de l'air ambiant en introduisant de l'air frais et en évacuant les odeurs et l'excédent d'humidité. Dans les anciens bâtiments, les installations sont en général moins sophistiquées que dans les nouveaux: la chaleur est diffusée par des radiateurs apparents; les logements sont équipés d'une seule salle de bain; les chambres disposent d'une seule prise électrique.

CHAUFFAGE

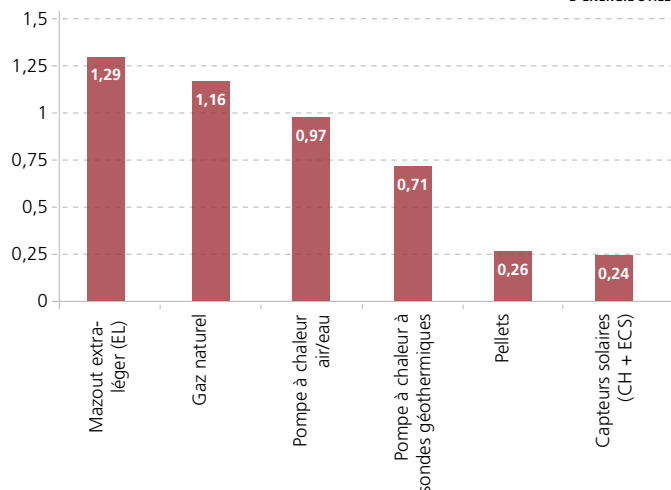
Dans les bâtiments existants, il faudrait pouvoir conserver le plus longtemps possible les radiateurs qui les équipent. La même règle s'applique aux conduites de distribution. Si l'on doit les remplacer, il faut en principe créer de nouvelles gaines verticales d'alimentation, et donc intervenir sur la structure primaire du bâtiment. Si tel est le cas, l'architecte devrait envisager de disposer les nouvelles conduites de distribution dans des gaines facilement accessibles, ou encore, comme autrefois, les laisser apparentes. Remplacer les radiateurs par un chauffage au sol ne devrait se concevoir que dans le cas où les revêtements de sols ainsi que les chapes sont tellement endommagés qu'il faut les renouveler de toute façon. L'avantage du chauffage au sol est d'élargir les possibilités de choix au niveau des générateurs de chaleur. Son désavantage est de diminuer presque toujours la hauteur de plafond des logements, ce qui nécessite de nombreuses adaptations souvent coûteuses. La hauteur des tablettes de fenêtres, châssis et linteaux des portes, vantaux de portes, interrupteurs et prises électriques doit être modifiée pour s'adapter au nouveau niveau du sol. La nécessité d'une telle transformation devrait être soigneusement soupesée. Si l'enveloppe du bâtiment est assainie sur le plan énergétique, les besoins de chaleur diminuent, ce qui permet de faire baisser la température de départ et d'ouvrir de nouvelles possibilités de raccordement à divers types de générateurs de chaleur.

Le raisonnement inverse est aussi envisageable: si la chaudière actuelle arrive en fin de vie, c'est peut-être le moment choisi pour assainir le bâtiment sur le plan énergétique, pour changer d'agent énergétique primaire et choisir un programme de transformation adapté.

Le graphique qui suit compare, à production égale, différents types de générateurs de chaleur sur le plan de l'énergie primaire non renouvelable consommée. Pour rappel, le graphique en p. 5 explique le rapport entre l'énergie grise et l'énergie primaire nécessaire pour l'exploitation d'un bâtiment.

GÉNÉRATEURS DE CHALEUR

ÉNERGIE PRIMAIRE NON RENOUVELABLE PAR kWh D'ÉNERGIE UTILE



On voit que les agents énergétiques fossiles (mazout et gaz) sont les plus mal placés, que les pompes à chaleur offrent un bilan bien meilleur, et que les chaudières à pellets et les capteurs solaires sont encore meilleurs, en raison notamment de la quantité importante d'énergie renouvelable qu'ils exploitent.

RENOUVELLEMENT DE L'AIR AMBIANT

Le remplacement des anciennes fenêtres par des fenêtres de dernière génération absolument étanches à l'air ouvre un nouveau champ de réflexion autour du renouvellement de l'air intérieur et de l'évacuation de l'humidité excédentaire. Il s'agit désormais de réguler de manière contrôlée les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur. L'architecte devra choisir un système de ventilation raisonnable, adapté à l'importance des interventions de rénovation prévues. Dans la construction de nouveaux bâtiments, il est devenu courant d'installer une ventilation douce à double flux, dont les conduites passent dans les doubles plafonds. Dans la rénovation d'anciens bâtiments, on peut ventiler les locaux de différentes manières:

- Aération par les utilisateurs (ouverture des fenêtres)
- Aération automatisée par les fenêtres
- Ventilation simple flux avec entrées d'air contrôlées
- Aération douce double flux

L'aération par les utilisateurs qui ouvrent les fenêtres ne nécessite aucune intervention de rénovation et ne consomme aucune énergie grise. Mais il est aussi possible d'automatiser l'ouverture des fenêtres. Certains bâtiments disposent déjà d'une installation centralisée d'évacuation de l'air vicié, notamment par des ventilateurs installés

dans les WC. Mais lorsqu'on remplace les anciennes fenêtres par des fenêtres étanches à l'air, il faut trouver une solution pour aspirer de l'air de l'extérieur. A cette fin, il faut créer des ouvertures dans les façades extérieures ou des fentes dans les dormant des fenêtres, qui laissent passer un filet d'air régulé. L'aspiration centralisée de l'air vicié passe par des gaines verticales à créer. Ces interventions sont relativement faciles à exécuter, même si elles nécessitent des modifications de la structure primaire du bâtiment. Si le maître d'ouvrage a décidé d'installer une aération douce à double flux, il faudra créer des gaines pour l'aspiration de l'air frais et pour l'extraction de l'air vicié, ainsi que pour les sorties et les entrées d'air préchauffé dans les pièces. Toutes ces conduites de distribution et de répartition doivent trouver place dans des doubles plafonds ou doubles parois, ce qui est une solution onéreuse. La dépense d'énergie grise dépend beaucoup de la solution choisie: soit des conduites apparentes, soit des conduites entièrement noyées. Il n'est pas rare que les mesures d'accompagnement d'une telle installation double flux – telles que l'espace supplémentaire pour la centrale, ou les percements dans la structure pour faire passer les gaines – reviennent aussi cher à réaliser que l'installation elle-même.

INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

Dans la rénovation, les exigences relatives à l'utilisation de l'énergie solaire sont semblables à celles qui s'appliquent à la construction neuve. On trouve non seulement les systèmes de panneaux posés en toiture, largement répandus, mais aussi des solutions d'équipement en façade, de plus en plus prisées. La fabrication des modules photovoltaïques consomme beaucoup d'énergie grise. Une installation photovoltaïque suffisamment importante pour couvrir les besoins annuels d'électricité d'une villa performante sur le plan énergétique augmente la «facture» d'énergie grise de ce bâtiment de 20 %. Mais la production d'électricité d'une installation photovoltaïque dépasse de beaucoup cette quantité d'énergie grise. Un tel investissement est donc malgré tout un choix judicieux. Le retour sur investissement exact dépend du type de panneaux choisis, du genre de sous-construction et du lieu d'implantation de l'installation (durée d'ensoleillement). En règle générale, il faut entre 2 et 3 ans pour retrouver l'énergie qui a été nécessaire pour produire les panneaux.



Références bibliographiques

- SuisseEnergie: Aérer en respectant le bâtiment – Comment ventiler les logements lors de leur rénovation, 2014

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

LE PRÉSENT CHAPITRE ABORDE CONCRÈTEMENT LA QUESTION DU CHOIX DES MATÉRIAUX.

PARAMÈTRES DÉTERMINANTS

Les informations fournies ci-après permettent d'évaluer grossièrement la quantité d'énergie grise contenue dans les matériaux. Les graphiques donnent des valeurs indépendantes des produits spécifiques, mais permettent de choisir la catégorie de produits la mieux adaptée.

PROCESSUS DE PRODUCTION

L'énergie grise est l'addition de l'énergie nécessaire à la production d'un objet et de celle nécessaire à son élimination. La part d'énergie de production est toujours la plus importante des deux. La règle est simple: plus un matériau demande de l'énergie pour sa fabrication, plus il contiendra de l'énergie grise.

Trois facteurs entrent en jeu pour déterminer l'énergie de production:

- l'extraction des matières premières,
- la part de matériaux recyclés contenus dans le produit,
- le nombre d'étapes de fabrication et leur genre.

Les matériaux ou produits fabriqués à partir de matières premières simples à extraire contiennent en général moins d'énergie grise que ceux dont les matières premières demandent beaucoup d'énergie à l'extraction. Les matériaux nobles, ayant demandé beaucoup d'énergie au cours de leurs nombreuses étapes de fabrication contiennent plus d'énergie grise que des matériaux plus simples à fabriquer. Certains processus sont très énergivores: la fusion (des métaux), l'incinération ou le séchage consomment de grandes quantités d'énergie thermique, et donc leurs produits contiennent beaucoup d'énergie grise.

Si le matériau contient une certaine proportion de matières recyclées, cela contribue à faire baisser l'énergie grise, à condition toutefois que le processus de recyclage ne soit pas lui-même très gourmand en énergie. Un exemple très répandu est l'isolant à base de flocons de papier recyclé: ce matériau profite de l'énergie grise (non comptabilisée) nécessaire à fabriquer le produit antérieur (le papier), lequel est transformé par un processus simple. Par contre, le béton recyclé contient presque autant d'énergie grise que le béton normal, car il nécessite plus de ciment. Il reste toutefois intéressant parce qu'il permet d'économiser des matières premières (gravier naturel).

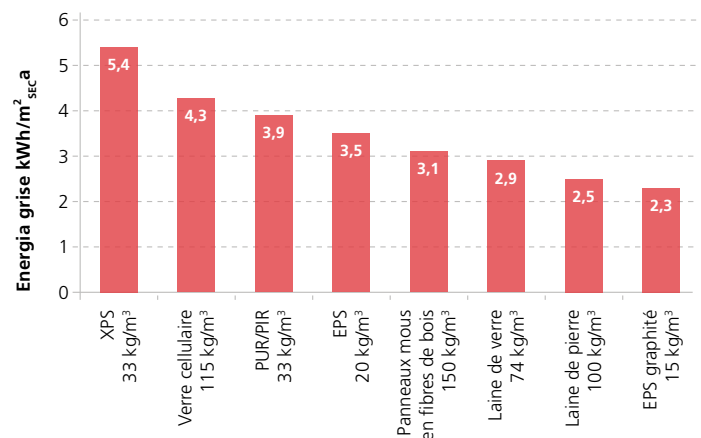
ENVELOPPE

Lors de la rénovation de bâtiments existants, la question de l'isolation des murs extérieurs se pose avec une acuité particulière. En effet, une meilleure enveloppe permet de réduire les besoins en énergie d'exploitation. On peut améliorer une enveloppe de nombreuses manières en utilisant toutes sortes de matériaux isolants: laine de pierre, laine de verre ou matériaux à base de pétrole, tels que polyisocyanurate (PIR), polystyrène extrudé (XPS) ou polystyrène expansé (EPS).

FAÇADES COMPACTES

Le graphique ci-dessous présente différents isolants utilisables pour réaliser des façades compactes. Ils sont identifiés par leur nom et leur densité et se réfèrent au même coefficient de transmission thermique (U de 0,2 W/m²K). Ainsi, suivant les propriétés isolantes du matériau, son épaisseur varie. De plus, la densité du matériau joue un rôle: plus il est lourd, plus il contient d'énergie grise. Ces différents critères se combinant entre eux, il est impossible d'asséner des «vérités», telles que «tous les isolants lourds ne sont pas favorables du point de vue de l'énergie grise». Les trois paramètres suivants jouent un rôle déterminant: l'épaisseur, la densité et l'énergie grise nécessaire à la production de l'isolant.

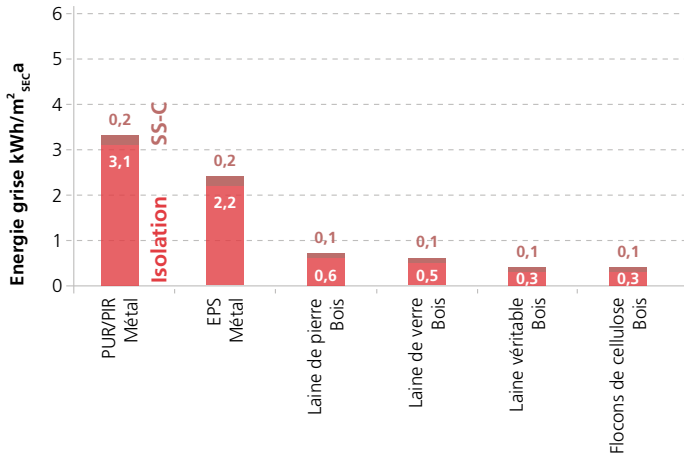
ISOLATION D'UNE FAÇADE COMPACTE VALEUR U 0,20 W/m²K



FAÇADES VENTILÉES

Les systèmes de façades ventilées se distinguent des façades compactes sur deux points essentiels: d'une part, leur durée d'amortissement est de 40 ans au lieu de 30 ans; d'autre part, il est possible de mettre en œuvre des matériaux isolants plus légers. Comme on va le voir, cela entraîne un autre classement des produits isolants. La palme va aux matériaux très légers, notamment ceux que l'on place entre chevrons. Parmi les meilleurs produits, on trouve les flocons de cellulose – en raison de leur importante part recyclée – ainsi que la laine véritable – en raison de sa provenance naturelle. Puis suivent les laines minérales (de pierre et de verre) légères. En usage dans les façades ventilées, leur densité n'est plus que le quart des mêmes produits conçus pour supporter les crépis des façades compactes. Leur énergie grise est réduite dans les mêmes proportions.

ISOLATION DES FAÇADES VENTILÉES AVEC SOUS-CONSTRUCTION



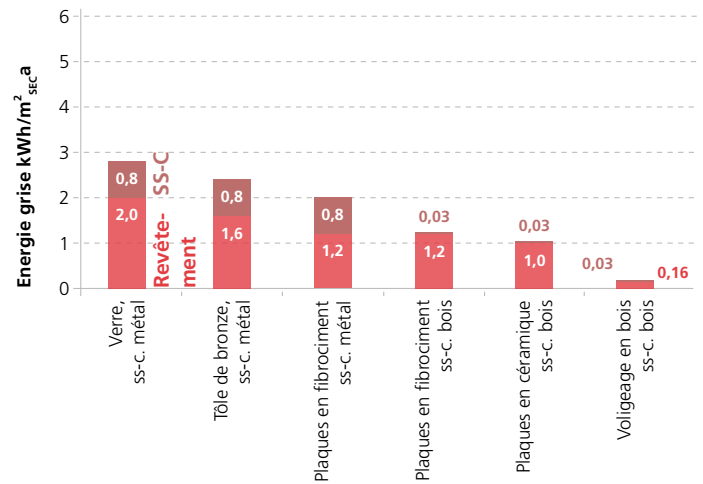
SOUS-CONSTRUCTION

Les matériaux les plus courants pour la sous-construction sont le bois et le métal. L'épaisseur du matériau de sous-construction dépend toujours du poids des éléments qui viennent s'y fixer: plus les éléments sont lourds, plus massive doit être la sous-construction qui les supporte. La même règle s'applique quel que soit le contexte: pour un parement de façade extérieure (comme dans l'exemple qui suit), une cloison intérieure, une contre-cloison ou un plafond suspendu. Bien que les sous-constructions métalliques soient bien plus minces que celles en bois, elles consomment significativement plus d'énergie grise, en raison de la densité élevée du matériau ainsi que du processus de fabrication complexe et vorace en énergie.

REVÊTEMENTS DE FAÇADES

Un même raisonnement peut être fait pour les revêtements de façades, suivant le matériau choisi ainsi que sa sous-construction. La solution la plus défavorable du point de vue de l'énergie grise est de prévoir des revêtements lourds sur des couches isolantes très épaisses. Le graphique qui suit compare différents systèmes de revêtement, y compris la sous-construction correspondante.

REVÊTEMENTS VENTILÉS, Y C. LEUR SOUS-CONSTRUCTION

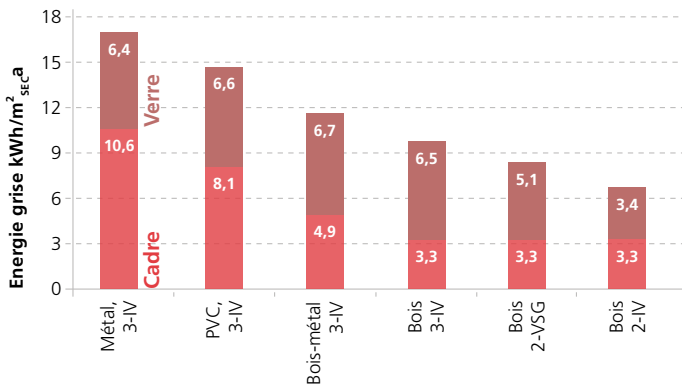


Le verre se fixe toujours sur un support métallique; ce système est le plus grand consommateur d'énergie grise. A l'opposé, un voligeage vertical en planches se fixe toujours sur un support en bois. Ces deux extrêmes sont éloignés l'un de l'autre d'un facteur 15. Cela signifie que la dépense d'énergie grise dépend étroitement du choix des matériaux. Le cas des plaques en fibrociment, avec ses deux sous-constructions possibles (métal et bois), illustre bien l'effet de la sous-construction. La différence est de 0,8 kWh/m² SEC a.

FENÊTRES

Il arrive assez souvent qu'il faille remplacer les fenêtres avant d'envisager la rénovation de l'enveloppe du bâtiment. A ce moment-là, il faut choisir le matériau composant le cadre des fenêtres, ainsi que la sorte de vitrage. Le graphique qui suit se base sur une fenêtre de référence de 1,15 x 1,55 mètre dont on fait varier le matériau du cadre et le genre de vitrage. L'épaisseur du cadre change suivant le matériau utilisé. Le critère d'uniformisation est ici les dimensions hors-tout de la fenêtre et non le coefficient de transmission thermique.

MATÉRIAU DU CADRE ET TYPE DE VITRAGE



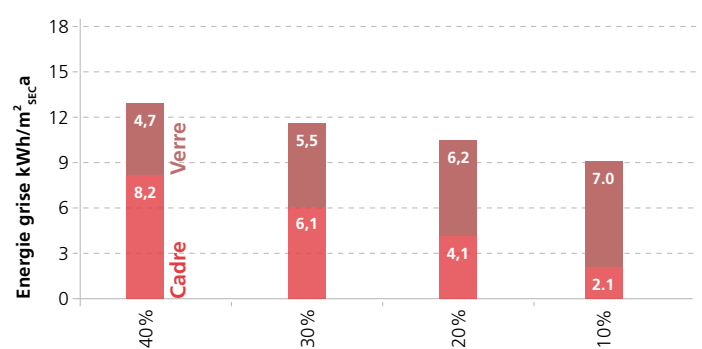
La règle se confirme: plus le procédé de fabrication est sophistiqué, plus le matériau contient d'énergie grise. Le métal et le PVC sont beaucoup plus consommateurs d'énergie grise que le bois. L'énergie grise du verre reste à peu près constante, quel que soit le matériau constituant le cadre.

Le double vitrage en verre simple (2-IV) consomme moins d'énergie grise que le double verre de sécurité stratifié (2-VSG), alors que le triple vitrage en consomme le plus. Ces résultats se concentrent sur la problématique de l'énergie grise et ne comprennent pas une réflexion sur l'énergie d'exploitation du bâtiment.

Le choix du type de vitrage se fait en général avec le critère de l'énergie d'exploitation; par contre, la réflexion est plus ouverte en ce qui concerne le matériau du cadre. Pour un triple vitrage, l'écart entre une fenêtre en bois et une fenêtre en métal oscille entre 10 kWh/m² SEC.a (bois) et 17 kWh/m² SEC.a (métal). En comparaison avec d'autres éléments du bâtiment, ces valeurs sont très élevées, ce qui devrait inciter l'architecte à étudier soigneusement le choix des matériaux de fenêtres.

En plus de ces deux critères (matériau et vitrage), il faut aussi considérer l'importance relative du cadre dans l'ensemble de la fenêtre, un critère non négligeable. Plus le cadre est épais – pour supporter plusieurs ouvrants ou des vantaux alourdis de croisillons décoratifs, ou pour réduire la surface des fenêtres –, plus mauvais est le bilan en énergie grise. Etant donné que, dans le cas des rénovations, il est quasiment impossible de faire varier la grandeur des fenêtres, il vaut la peine de se demander si l'on ne pourrait pas réduire le nombre des vantaux de fenêtres ou s'il est vraiment nécessaire de poser des croisillons décoratifs.

FENÊTRES EN BOIS, PROPORTION DU CADRE, VITRAGE 3-IV

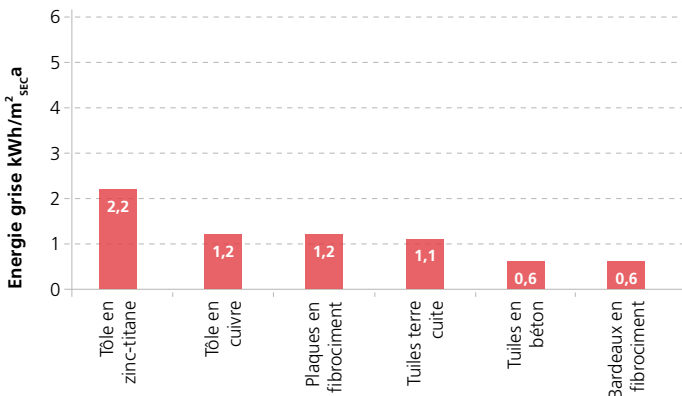


Le graphique ci-dessus illustre l'effet sur la quantité d'énergie grise de la proportion de cadre constituant la fenêtre (dans le cas présent en bois). Si l'on examine d'autres matériaux constitutifs du cadre, on observe des différences encore plus marquées. En effet, par rapport au verre, c'est bien le cadre qui consomme le plus d'énergie grise.

COUVERTURE D'UN TOIT EN PENTE

Le choix d'un matériau est toujours le fruit d'une réflexion multicritères. Le graphique qui suit compare différents systèmes de couverture. Il ne concerne que la dernière couche de toiture exposée aux intempéries et ne traite pas des systèmes de sous-construction. La charpente et la sous-couverture sont construits en général en bois et n'influencent guère le bilan en énergie grise, ni en valeur absolue, ni en valeur relative.

COUVERTURE SANS SOUS-CONSTRUCTION



Du point de vue de l'énergie grise, les tuiles en terre cuite sont moins favorables que les tuiles en béton en raison du procédé de fabrication incluant une cuisson. L'épaisseur du matériau peut jouer un rôle déterminant: en comparaison des plaques en fibrociment, les bardeaux, de constitution identique, sont deux fois plus minces, et contiennent donc deux fois moins d'énergie grise. Les métaux sont élaborés par des procédés consommant beaucoup d'énergie, ce qui alourdit leur bilan en énergie grise. Par ailleurs, l'eau de ruissellement se charge en polluants à leur contact et s'en va polluer les cours d'eau; les métaux en toiture sont donc à déconseiller du point de vue écologique.

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

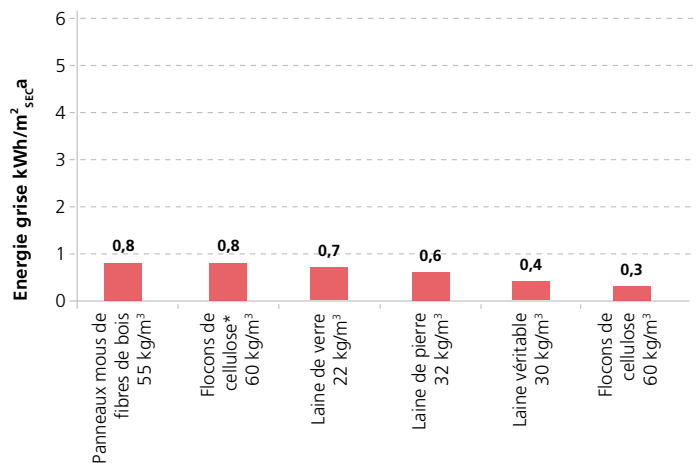
A nouveau, l'architecte a une responsabilité dans le choix des matériaux isolants (isolation de toiture entre chevrons ou isolation du plafond de la cave), ou dans celui du matériau constitutif des sols, des cloisons intérieures et/ou de leur revêtement.

ISOLATION DE TOITURE ENTRE CHEVRONS

Une façon simple d'isoler une toiture est de poser de l'isolant entre chevrons. Pour minimiser l'énergie grise, le choix devrait se porter sur des matériaux légers. Afin de pouvoir comparer les différents isolants sur une base homogène, on a ramené tous les isolants à la même valeur U. On a négligé l'effet des chevrons eux-mêmes et considéré une couche d'isolant continue.

ISOLATION DE TOITURE ENTRE CHEVRONS

VALEUR U 0,20 W/m²K



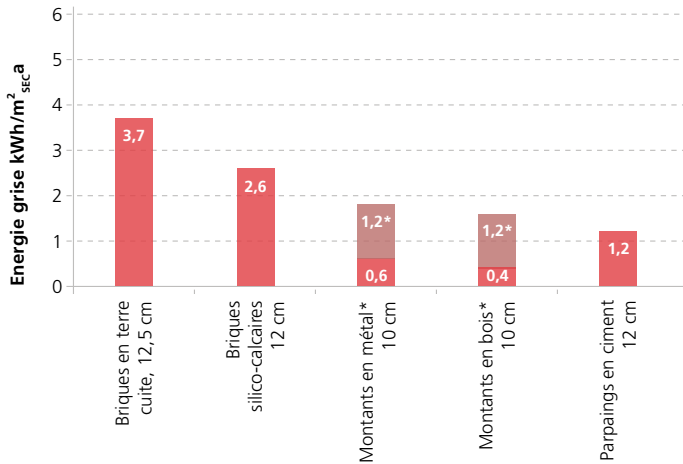
* supportés par une plaque en bois croisé triplis de 10 mm

Les matériaux présentant le bilan d'énergie grise le plus favorable, soit contiennent une proportion importante de matériaux recyclés (comme les flocons de papier recyclé), soit résultent d'un processus de fabrication extrêmement simple (laine de mouton). Le graphique montre aussi l'influence d'une couche supplémentaire sur le bilan d'énergie grise. Si les flocons de cellulose sont utilisés pour remplir des cavités existantes dans la toiture (entre chevrons), l'énergie grise sera très faible. En revanche, s'il faut créer une couche de support sous-chevrons au moyen d'une plaque multiplis de 10 mm laissée brute – parfois posée pour améliorer l'apparence de la sous-toiture –, le bilan d'énergie grise change sensiblement. Dans le cas présent, la plaque de contreplaqué consomme plus d'énergie grise que l'isolant lui-même. La «facture» d'énergie grise s'alourdit inexorablement avec le nombre de couches appliquées et avec le choix de matériaux complexes à fabriquer. On observe le même écart entre les panneaux mous en fibres de bois et les flocons de cellulose qu'entre un simple remplissage de flocons et un remplissage avec coffrage.

CLOISONS INTÉRIEURES

Dans le cas des rénovations, il est possible de modifier la partition de l'espace en construisant des cloisons non porteuses. Différentes techniques sont disponibles, des plus légères aux plus lourdes. Comme déjà indiqué précédemment, le matériau supportant les cloisons légères a un impact déterminant, le bois étant meilleur que le métal du point de vue de l'énergie grise.

CLOISONS, NON CRÉPIES



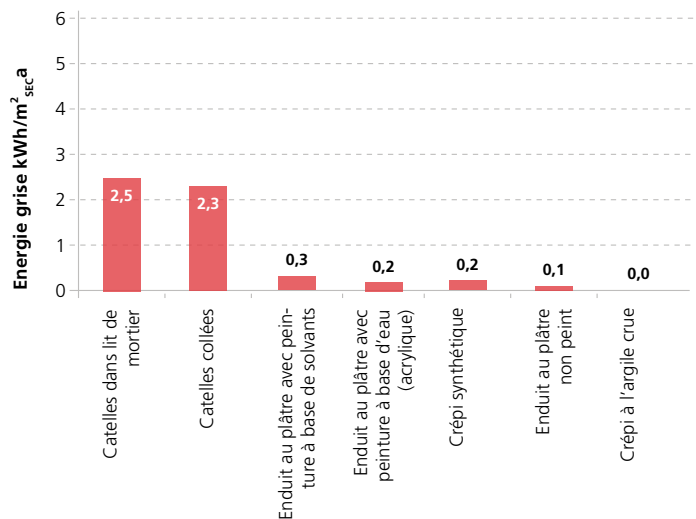
*Revêtement sur les deux faces du mur, y c. panneaux en placoplâtre 12,5 mm

Les valeurs indiquées dans le graphique doivent être interprétées avec prudence parce que les deux techniques de construction n'utilisent pas les mêmes matériaux et que les parpaings ou briques ne possèdent pas la même densité. Ce constat rappelle qu'en matière d'énergie grise, il est difficile d'établir des comparaisons fiables. Il vaut mieux, en général, comparer des systèmes de construction analogues, plutôt que de vouloir à tout prix comparer les couches successives indépendamment l'une de l'autre.

REVÊTEMENTS DE PAROIS INTÉRIEURES

A part la question des cloisons, l'architecte doit encore décider comment traiter les murs intérieurs. En valeurs relatives, les différences entre matériaux sont très importantes, mais elles restent insignifiantes en valeurs absolues. Le meilleur matériau du point de vue de l'énergie grise est l'argile crue en crépi (EG quasiment nulle). Un crépi synthétique a un bilan d'énergie grise double d'un enduit en plâtre, mais en raison de sa mince épaisseur, la différence en valeur absolue n'est que de 0,1 kWh/m² SEC a, c.-à-d. très faible. De même, l'application d'une couche de peinture augmente la quantité d'énergie grise de 0,1 à 0,2 kWh/m² SEC a, sachant que les peintures à l'eau sont moins gourmandes en énergie grise que les peintures à base de solvants.

REVÊTEMENTS DE PAROIS INTÉRIEURES

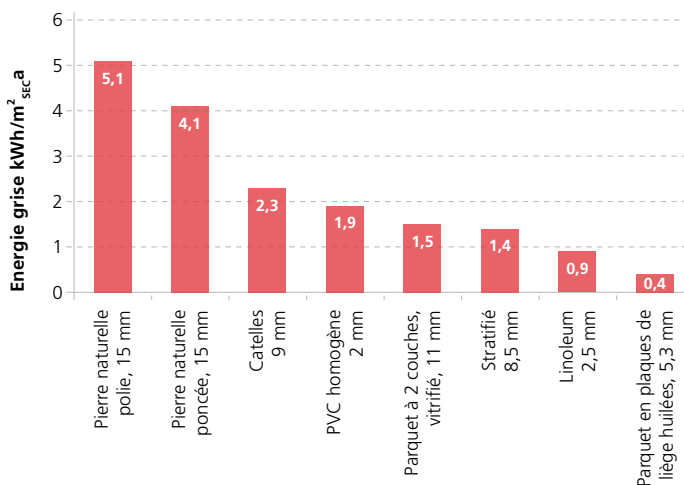


La situation est toute différente si l'on remplace le crépi par un revêtement de catelles (carrelages). La comparaison n'a pas beaucoup de sens puisqu'en général, les catelles sont réservées pour les salles d'eau (bain, douche, WC), c.-à-d. les locaux nécessitant des parois étanches. Néanmoins, il faut se rendre compte qu'un revêtement en carrelages consomme 12 fois plus d'énergie grise qu'une peinture synthétique étanche. Parmi les matériaux présentés dans ce guide, les carrelages sont les plus grands consommateurs d'énergie grise au m² d'éléments de construction, même dans l'hypothèse où l'architecte a optimisé ses choix. Conclusion: il faudrait réserver les revêtements en carrelages aux locaux où ils sont vraiment indispensables.

REVÊTEMENTS DE SOLS

Comme pour les murs et cloisons, il existe, pour les sols, un grand choix de matériaux possédant des propriétés très variables. En rénovation particulièrement, la palette se réduit car, mise à part l'énergie grise, c'est aussi l'épaisseur du revêtement qui joue un rôle déterminant. Comme déjà indiqué en p. 13, l'architecte évitera de devoir adapter les châssis de portes ou d'autres éléments. La preuve est à nouveau apportée que, même avec un produit

REVÊTEMENTS DE SOLS

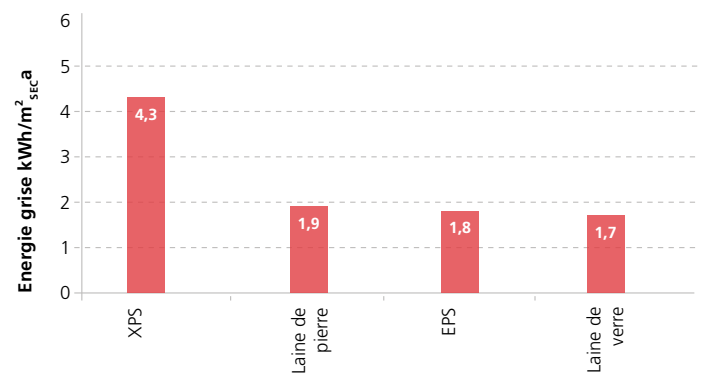


naturel tel que la pierre, c'est le procédé de traitement (polissage) qui fait la différence en termes d'énergie grise. Le polissage ou le ponçage consomment beaucoup d'énergie. On voit aussi que la couche la plus fine (PVC) n'est pas forcément la plus économe en énergie grise. Si les carrelages et le PVC consomment autour de 2 kWh/m² SEC,a, le parquet et le stratifié en consomment environ 1.5 kWh/m² SEC,a, soit une quantité d'énergie grise pratiquement identique. Une solution particulièrement économe en énergie grise est le revêtement en liège huilé, qui en consomme 0,42 kWh/m² SEC,a, ce qui ne représente qu'un dixième de l'énergie grise contenue dans un revêtement en pierre naturelle.

ISOLATION DU PLAFOND DE CAVE

Lors des rénovations, une des mesures les plus courantes pour assainir le bâtiment sur le plan énergétique est d'isoler la dalle du rez-de-chaussée contre la cave. Cette opération est relativement simple à réaliser et peu coûteuse; elle contribue grandement à améliorer le confort des habitants et à diminuer la consommation d'énergie. Le cadre de référence est à nouveau constitué par la valeur U égale à 0,25 W/m²K pour l'élément complet (justificatif par performances ponctuelles).

ISOLATION DU PLAFOND DE CAVE VALEUR U = 0,25 W/M²K



Sous cet angle, la laine de verre présente un meilleur bilan d'énergie grise que la laine de pierre et même que l'EPS. Cela tient au fait que la laine de verre est plus légère que la laine de pierre et présente un coefficient de conductibilité thermique plus faible. Comme on le voit, isoler le plafond de cave au moyen de plaques en XPS est la moins bonne des solutions, car cela consomme plus du double d'énergie grise que l'un des trois autres matériaux possibles.



Sources et références bibliographiques

- Données des écobilans dans la construction, KBOB 2009/1, 2014
- Daten für Schafwolle: baubook GmbH, Wien
- Energie grise des bâtiments. Cahier technique SIA 2032: 1re édition 2010, correctifs C1, 2013

RECOMMANDATIONS

VOICI DIX POINTS-CLÉS PERMETTANT D'OPTIMISER LE BILAN D'ÉNERGIE GRISE.

1. ETAT DU BÂTIMENT ET POTENTIEL DE COMMERCIALISATION

Une analyse objective et soigneuse du bâtiment permet de faire des choix de rénovation en accord avec les objectifs du maître d'ouvrage et de concevoir un programme des travaux par étapes, en fonction de l'état actuel des différents éléments du bâtiment.

2. POSSIBILITÉS D'AGRANDISSEMENT

Le règlement des constructions dicte les possibilités d'agrandir le volume du bâtiment; il est utile de s'y référer dès le début.

3. INTERVENTIONS PAR ÉTAPES

Les différents éléments du bâtiment ont des durées de vie différentes dont il s'agit de tenir compte dans une planification à long terme des travaux. Cela permet de ne pas détruire avant l'heure des éléments de valeur.

4. ÉLÉMENTS À CONSERVER

Les éléments construits existants encore en bon état doivent être conservés jusqu'à la fin de leur durée d'utilisation. La stratégie de rénovation respecte ces éléments.

5. ÉLÉMENTS NOUVEAUX

Lors d'une rénovation, chaque élément rajouté et chaque nouvelle couche de matériaux alourdit la «facture» d'énergie grise du bâtiment. Et il faut aussi s'interroger sur les conséquences d'un certain choix: les suites d'une modification architecturale peuvent peser plus lourd en termes d'énergie grise que l'intervention elle-même.

6. SOLUTIONS RATIONNELLES

Les bâtiments anciens ont souvent un charme et des qualités que les nouveaux bâtiments n'ont pas. S'il intervient avec discernement, l'architecte peut limiter la dépense d'énergie grise, ce qui se répercutera favorablement sur le bilan global de consommation d'énergie, et donc sur les loyers – un indicateur classique du potentiel de commercialisation.

7. STRUCTURE PORTEUSE

La structure primaire du bâtiment est celle dont la durée d'amortissement est la plus longue, et donc sa quantité d'énergie grise, la plus importante. Lors d'une rénovation, il faudrait éviter de toucher à cette structure porteuse.

8. DISSOCIATION DES ÉLÉMENTS À DURÉES DE VIE DIFFÉRENTES

Les éléments et les matériaux à durées de vie différentes ne devraient pas être noyés les uns dans les autres, mais au contraire être démontables de manière distincte, et accessibles séparément. Exemple: les conduites d'alimentation et les canalisations d'évacuation devraient prendre place dans une gaine technique verticale traversant le bâtiment.

9. MATÉRIAUX ISOLANTS

Il est difficile de choisir le matériau isolant approprié parmi la multitude de produits disponibles sur le marché. Plutôt que de tenter un calcul d'énergie grise couche par couche, il vaut mieux comparer des systèmes complets de parois ou de dalles. Le bois convient bien pour réaliser la sous-construction d'une couche d'isolation.

10. MATÉRIAUX

Il n'y a pas de «bons» ou de «mauvais» matériaux. Tout matériau a ses propriétés physiques, qui le rendent intéressant pour certaines fonctions. Suivant la manière dont il est mis en œuvre, un matériau peut remplir plusieurs fonctions: p.ex., protéger un élément contre le feu, tout en assurant une isolation phonique. Les matériaux et produits simples, d'origine régionale, dont l'élaboration n'a pas demandé une grande quantité d'énergie sont préférables du point de vue de l'énergie grise.

**ZWEIBRUGGENMÜHLE, ST-GALL
ANNÉE DE CONSTRUCTION: 1903**

**CET ANCIEN MOULIN SE DISTINGUE PAR
SA FACADE DE STYLE NÉOCLASSIQUE EN
BRIQUES APPARENTES.
IL A ÉTÉ TRANSFORMÉ EN 2010 POUR EN
FAIRE 22 LOGEMENTS DE CARACTÈRE.**



CO-AUTEURS

- aardeplan ag, architectes EPFZ SIA , Baar
- Energieagentur St.Gallen GmbH, St-Gall
- Visiobau, bureau d'architecture SIA , Muolen

SOURCES

- Bases pour les calculs énergétiques des bâtiments. SIA 380:2015
- Energie grise des bâtiments. Cahier technique SIA 2032, 1re édition 2010, correctifs C1, 2013
- La voie SIA vers l'efficacité énergétique. Cahier technique SIA 2040, 2011
- Rénovation énergétique des bâtiments, CT SIA 2047: 2015
- Données des écobilans dans la construction, KBOB 2009/1, 2014
- CRB, Code des coûts de construction, 2012

PHOTOS

- Energieagentur St.Gallen GmbH

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- SuisseEnergie: Rénovation énergétiquement correcte des immeubles locatifs - recommandations pour la rénovation stratégique des bâtiments, 2014
- SuisseEnergie: Aérer en respectant le bâtiment – Comment ventiler les logements lors de leur rénovation
- Gesund und ökologisch bauen mit Minergie®-ECO, édition
- Faktor 2015 (Réaliser une construction saine et écologique avec Minergie-ECO, en allemand seulement)
- interact, HES Lucerne, Technik und Architektur: Die Typologie der Flexibilität im Hochbau, 2008 (Une typologie flexible dans le bâtiment)

POUR EN SAVOIR PLUS

LIENS EN RAPPORT AVEC LE SUJET

www.eco-bau.ch	Questions de durabilité pour les bâtiments publics
www.ecospeed.ch	Etablir votre propre bilan énergétique
www.kbob.admin.ch > Publications > Construction durable	Données des écobilans dans la construction, KBOB 2009/1, 2014

AUTRES LIENS

www.cecb.ch	Certificat énergétique cantonal des bâtiments
www.energieantworten.ch	Réponses aux questions relatives à l'énergie
www.energybox.ch	Évaluez votre consommation d'électricité
www.energieetikette.ch	Étiquette-énergie pour les appareils électroménagers, les ampoules, les voitures, les pneus, etc.
www.energiefranken.ch	Tous les programmes d'encouragement de votre commune
www.energie-bois.ch	Tout savoir sur le chauffage au bois
www.energie-environnement.ch	Site internet des services cantonaux de l'énergie et de l'environnement sur les économies d'énergie et la protection de l'environnement
www.fernwaerme-schweiz.ch	Association suisse du chauffage à distance (ASCAD)
www.fws.ch	Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP
www.garantie-de-performance.ch	Certificat de performance des installations du bâtiment
www.geothermie.ch	Association pour la promotion de la géothermie en Suisse
www.gh-schweiz.ch	Association des entrepreneurs de l'enveloppe des édifices Enveloppe des édifices Suisse
www.habitatdurable.ch	Association HabitatDurable Suisse romande
www.hev-schweiz.ch	Association suisse des propriétaires fonciers
www.minergie.ch	Le label suisse pour le confort, l'efficacité et le maintien de la valeur patrimoniale
www.nnbs.ch	Réseau Construction durable suisse
www.snbs.ch	Standard Construction durable Suisse
www.suisseenergie.ch	Office fédéral de l'énergie (OFEN)
www.suisseenergie.ch/check-batiment-chauffage	Système check-bâtiment-chauffage
www.swissolar.ch	Centre d'information sur l'énergie solaire
www.topten.ch	Comparaison des appareils électroménagers les plus économes en énergie
