

Ragonesi | Menti | Tschui | Zurfluh

Minergie-P

Le standard de la maison à 2000 watts



suisse énergie



Conférence des directeurs
cantonaux de l'énergie



Contenu

1. La maison, système global	5
2. Procédure de calcul et certification	15
3. Enveloppe du bâtiment	27
4. Installations techniques	111
5. La protection thermique en été	127
6. Exemples	135

Impressum

**Minergie-P – le standard de la maison
à 2000 watts**

Editeur: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau

Auteurs: Marco Ragonesi, Urs-Peter Menti, Adrian Tschui, Benno Zurfluh.

Direction de projet: Fachhochschule Nordwestschweiz; Institut für Energie am Bau, MuttENZ; Armin Binz, Achim Geissler, Barbara Zehnder

Révision et mise en page: Faktor Journalisten AG, Zurich; Othmar Humm, Noemi Bösch, Christine Sidler

Traduction: Ilsegret Messerknecht, Traductions spécialisées

Lectorat spécialisé: Anna Piguet, Piguet Architectes Sàrl

Cet ouvrage fait partie de la série de publications spécialisées «Construction durable et rénovation». Il se base sur les cours du cursus Master visant à l'obtention d'un certificat «Energie et construction durable» (www.en-bau.ch), une offre de formation continue de 5 hautes-écoles spécialisées suisses. Cette publication a été financée par l'Office fédéral de l'énergie OFEN/SuisseEnergie et la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK).

Illustration de la page de couverture:
© F. Marro

Commande: A télécharger gratuitement sous www.energiewissen.ch ou sous forme de livre auprès de Faktor Verlag, info@faktor.ch ou www.faktor.ch

Janvier 2013.
ISBN: 978-3-905711-19-6

«Pas une promenade de santé»

Trois questions à Armin Binz, directeur de l'Agence Minergie du bâtiment, sur le standard de construction Minergie-P et son environnement.

Est-il périlleux de tenter de respecter progressivement le standard Minergie-P pendant l'étude du projet?

Périlleux non, mais coûteux. Lorsque l'objectif Minergie-P n'est pas en ligne de mire dès le départ, on a tendance à décrocher trop tard les compétences nécessaires. Le standard échoue souvent du fait de la trop forte augmentation des coûts. En effet, les éléments augmentant les coûts ne sont pas ciblés dès le départ par le concepteur. Le supplément «P» ne doit pas engendrer un surcoût de plus de 15 % pour le bâtiment.

Illustr. 1: L'architecte Prof. Armin Binz est directeur de l'Institut für Energie am Bau de la Haute école spécialisée de la Suisse du Nord-Ouest et de l'Agence Minergie du bâtiment.

se référer aujourd'hui à des projets mis en œuvre qui sont d'une grande plasticité. La résidence Eichgut à Winterthour dispose par exemple d'une façade originale particulièrement époustouflante.



Dans le processus de construction, quelles sont les mauvaises décisions entraînant la hausse des coûts?

Il est difficile de répondre à cette question. Des dizaines, des centaines de décisions sont prises au cours du processus de planification. La plupart entraînent des coûts. L'élément constituant majoritairement un bâtiment Minergie-P est l'enveloppe du bâtiment parfaitement isolée qui est donc nettement plus compliquée et coûteuse à mettre en œuvre.

De nouvelles exigences peuvent-elles donner naissance à un nouveau langage architectural?

Un nouveau langage architectural n'est pas nécessaire. Les bons architectes ne craignent pas les facteurs restrictifs ou déterminants. Chaque lieu fixe ses restrictions. Cela commence par la législation en matière de construction, d'environnement, de topographie, des constructions voisines. Ce sont toutes des influences dont il faut tenir compte et qui doivent être intégrées sur le plan architectural. Minergie-P est un aspect, il peut conduire à une amélioration architecturale. On peut



Illustr. 2: Le lotissement Eichgut à Winterthour (ZH-007-P).

La maison, système global

Urs-Peter Menti **Exigences**

La preuve du respect des exigences est apportée, lors de la demande de certification, par le biais de calculs (exigence primaire, indice de dépense d'énergie, besoins de puissance thermique), au moyen d'une déclaration (utilisation d'appareils à faible consommation, protection thermique en été) ou par le biais d'opérations de mesure effectuées sur le bâtiment en lui-même (étanchéité à l'air). Le tableau 1 définit les exigences en vigueur depuis janvier 2009. Les exigences actuellement en vigueur sont disponibles sur le site Internet de Minergie à l'adresse suivante: www.minergie.ch.

Illustr. 3: Exigences relatives aux besoins de chaleur pour le chauffage pour les constructions neuves et les transformations. La valeur de référence (100 %) est la valeur limite de la norme SIA 380/1: 2009 pour constructions neuves. Les besoins de chaleur pour le chauffage des transformations Minergie ne sont soumis à aucune exigence.

Besoins de chaleur pour le chauffage selon la norme SIA 380/1 actuellement en vigueur

L'exigence des besoins de chaleur pour le chauffage selon la norme SIA 380/1, également appelée exigence primaire, est souvent le plus gros obstacle à franchir lors de la conception d'un bâtiment Minergie-P. Les exigences en matière d'enveloppe du bâtiment (déperditions et apports) sont définies ici sans tenir compte de la solution d'installations techniques choisie. L'exigence primaire pour les nouvelles constructions correspond à 60 % de la valeur limite

de la norme SIA 380/1, celle applicable aux modernisations à 80 % de la valeur limite pour les nouvelles constructions SIA 380/1. Pour les nouvelles constructions, Minergie-P correspond à la valeur cible de la norme SIA 380/1.

Indice pondéré de dépense d'énergie

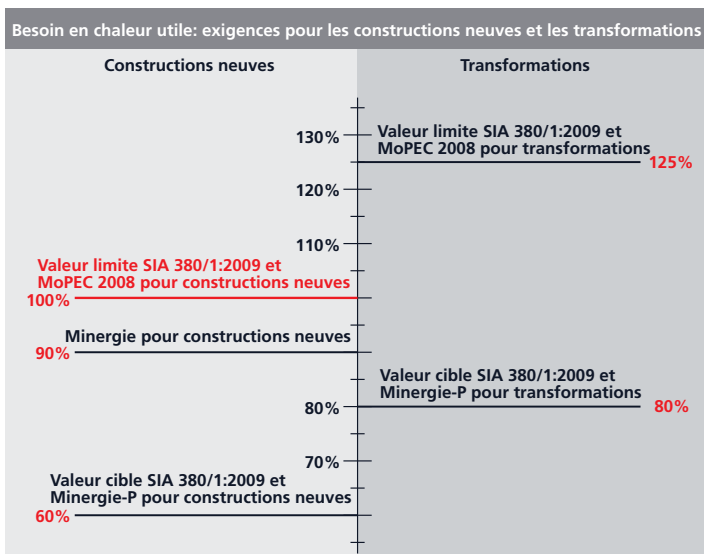
L'indice pondéré de dépense d'énergie comprend les besoins énergétiques pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, l'aération et les équipements auxiliaires ainsi que le refroidissement le cas échéant. Les agents énergétiques utilisés sont évalués à l'aide de facteurs de pondération spécifiques à Minergie et l'efficacité énergétique des installations techniques est indiquée à travers les fractions utiles.

Etanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment

Pour des raisons énergétiques mais également pour assurer un bon confort, les bâtiments Minergie-P doivent présenter une étanchéité à l'air élevée de l'enveloppe du bâtiment (mesurée dans chaque unité d'utilisation, dans chaque appartement pour les bâtiments d'habitation). La preuve du respect de cette exigence doit être apportée à l'aide du test d'étanchéité à l'air appelé «test de Blower-door».

Appareils électroménagers de la classe d'efficacité A ou A+

Les meilleures conditions permettant une faible consommation d'électricité doivent être réunies. Ceci exige d'une part des luminaires et des lampes à basse consommation et d'autre part l'utilisation exclusive d'appareils électroménagers (cuisinière, four, lave-linge, sèche-linge etc.) de la classe d'efficacité A. Pour les appareils de réfrigération (réfrigérateurs, congélateurs), l'utilisation d'appareils de la classe d'efficacité A+ est prescrite. Une liste de bons appareils sur le plan énergétique est disponible sur le site Internet Topten indépendant des fabricants: www.topten.ch.



Besoins spécifiques de puissance thermique

La puissance thermique spécifique à installer admise pour les constructions disposant d'un chauffage à air chaud est fixée à un maximum de 10 W/m². Si un bâtiment est chauffé avec de l'air chaud, cela correspond alors à la puissance maximale transportée par l'air, sans que le renouvellement d'air soit supérieur à la valeur nécessaire sur le plan de l'hygiène (s'applique aux immeubles d'habitation). L'augmentation du renouvellement d'air au-delà de cette valeur n'est pas judicieuse sur le plan énergétique et peut occasionner des problèmes en matière de confort. Cette exigence est supprimée pour les bâtiments sans chauffage à air chaud.

La protection thermique en été

En matière de protection thermique en été, Minergie-P impose les mêmes exigences que Minergie et possède également la même procédure de justification. En raison d'une enveloppe de bâtiment encore mieux isolée qu'avec Minergie, de surfaces vitrées plus grandes (pour l'utilisation du solaire passif) et d'une masse thermique plus faible (pour les constructions en bois), les bâtiments Minergie-P sont re-

lativement plus exigeants que les bâtiments Minergie sur le plan de la protection thermique en été (surchauffe en été).

Exigences supplémentaires

Outre ces six exigences principales, il existe également des exigences supplémentaires spécifiques à l'utilisation, comme par exemple pour l'éclairage. (Voir les sites Internet www.minergie.ch et www.toplicht.ch. Ces sites proposent une liste de luminaires certifiés selon Minergie.) Toutes ces exigences réglementaires imposées au standard Minergie-P ont des conséquences pour la mise en œuvre, notamment par rapport aux constructions Minergie (Illustration 5). En plus de l'obligation d'utiliser des énergies renouvelables, il s'agit surtout d'une enveloppe de bâtiment mieux isolée et de très bonnes fenêtres à triple vitrage. Remarque importante: les indices de dépense d'énergie et les besoins de chaleur pour le chauffage sont des résultats qui reposent sur le modèle de calcul de la norme SIA 380/1.

Ce modèle de calcul reproduit aussi précisément que possible la réalité mais une conformité universelle à 100 % ne pourra jamais être obtenue. Le comportement des utilisateurs, en particulier, peut entraîner



Illustr. 4: Le premier bâtiment Minergie-P certifié (AG-001-P, Dintikon).

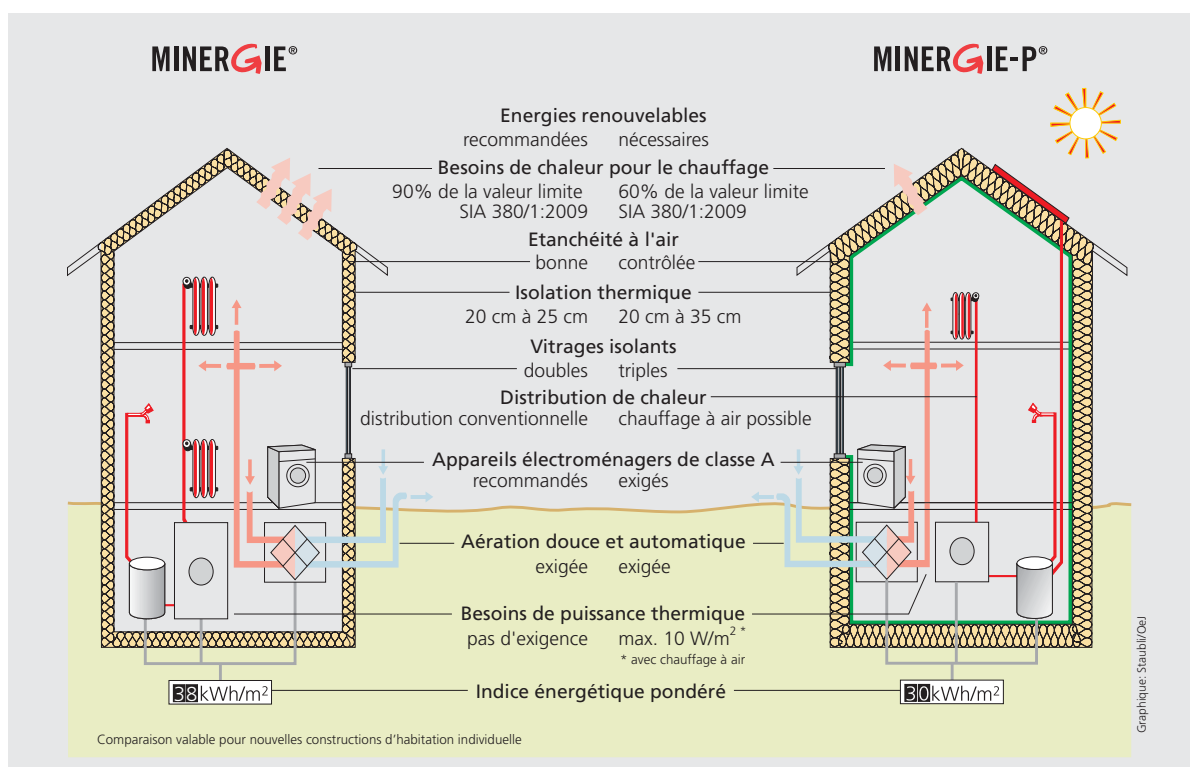
Catégorie de bâtiment selon SIA		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Exigences pour constructions neuves		Habitat collectif	Habitat individuel	Administration	Ecoles	Commerce	Restaurants	Locaux de réunion	Hôpitaux	Industrie	Stock	Bâtiments sportifs	Piscines couvertes
Alimentation en air extérieur contrôlée	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Non certifiable selon Minergie-P
Exigence primaire relative à l'enveloppe du bâtiment	% de $Q_{h,li}$	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
	kWh/m ²	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Energie finale: valeur limite Minergie-P	kWh/m ²	30	30	25	25	25	40	40	45	15 ⑤	15 ⑤	20	
Besoins spécifiques de puissance thermique (avec un chauffage à air chaud)	W/m ²	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Appareils électriques à basse consommation	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Etanchéité à l'air (valeur $n_{50,st}$)	h ⁻¹	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Exigences supplémentaires													
Eclairage selon la norme SIA 380/4, satisfaction de la valeur limite Minergie-P	oui/non	n	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Valeur limite ventilation/climatisation selon la norme SIA 380/4	oui/non	n	n	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	
Confort thermique en été	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Autres exigences supplémentaires spécifiques (de manière analogue à Minergie)		②	②	②	②	② ④	② ③ ④	②	② ④	② ④	② ④	② ③	
① Lors de l'utilisation d'installations de ventilation et de climatisation, considérées comme énergie découlant de procédés, le bâtiment doit être considéré selon la norme 380/4 Ventilation/climatisation.							④ L'utilisation des rejets thermiques du froid industriel doit toujours être justifiée.						
② Les constructions Minergie-P avec piscine couverte intégrée sont impossibles.							⑤ Dans des cas justifiés et de «Best practice» pour les installations techniques du bâtiment, il est possible de s'écarter de ces exigences.						
③ 20 % des besoins d'eau chaude doivent être couverts par des énergies renouvelables. En revanche, les besoins de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire ne sont pas inclus dans le calcul de l'énergie finale pondérée.							Toutes les variables de calcul sont à utiliser selon la norme SIA 380/1:2009.						

Tableau 1: Exigences pour constructions neuves selon Minergie-P. Les exigences actuelles sont disponibles sur le site Internet www.minergie.ch.

Catégorie de bâtiment selon SIA		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Exigences pour constructions avant 2000 (modernisation)		Habitat collectif	Habitat individuel	Administration	Ecoles	Commerce	Restaurants	Locaux de réunion	Hôpitaux	Industrie	Stock	Bâtiments sportifs	Piscines couvertes
Alimentation en air extérieur contrôlée	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Non certifiable selon Minergie-P
Exigence primaire relative à l'enveloppe du bâtiment	% de $Q_{h,li}$	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
	kWh/m ²	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Energie finale: valeur limite Minergie-P	kWh/m ²	30	30	25	25	25	40	40	45	15 ⑤	15 ⑤	20	
Besoins spécifiques de puissance thermique (avec un chauffage à air chaud)	W/m ²	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Appareils électriques à basse consommation	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Étanchéité à l'air (valeur $n_{50,st}$)	h ⁻¹	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Exigences supplémentaires													
Eclairage selon la norme SIA 380/4, satisfaction de la valeur limite Minergie-P	oui/non	n	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Valeur limite ventilation/climatisation selon la norme SIA 380/4	oui/non	n	n	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	o ①	
Confort thermique en été	oui/non	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Autres exigences supplémentaires spécifiques (de manière analogue à Minergie)		②	②	②	②	② ④	② ③ ④	②	② ④	② ④	② ④	② ③	
① Lors de l'utilisation d'installations de ventilation et de climatisation, considérées comme énergie découlant de procédés, le bâtiment doit être considéré selon la norme 380/4 Ventilation/climatisation. ② Les constructions Minergie-P avec piscine couverte intégrée sont impossibles. ③ 20 % des besoins d'eau chaude doivent être couverts par des énergies renouvelables. En revanche, les besoins de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire ne sont pas inclus dans le calcul de l'énergie finale pondérée.							④ L'utilisation des rejets thermiques du froid industriel doit toujours être justifiée. ⑤ Dans des cas justifiés et de «Best practice» pour les installations techniques du bâtiment, il est possible de s'écarter de ces exigences. Toutes les variables de calcul sont à utiliser selon la norme SIA 380/1:2009.						

Tableau 2: Exigences pour modernisations selon Minergie-P. Les exigences actuelles sont répertoriées sur www.minergie.ch.

Remarque: Les exigences pour les besoins de chaleur pour le chauffage de constructions modernisées selon Minergie-P se rapportent à la valeur limite de la norme SIA 380/1 pour constructions neuves.



des écarts supérieurs entre la valeur de calcul et la consommation effective. De plus, la pondération des agents énergétiques (p.ex. électricité avec un facteur 2) produit obligatoirement une différence entre les chiffres calculés et mesurés. Qui plus est, plus les besoins énergétiques sont faibles, plus les écarts relatifs entre calcul et mesure sont élevés. La prudence est donc de rigueur lorsque l'on compare une valeur de calcul et une consommation mesurée.

Rénovation?

L'emplacement, l'orientation du bâtiment, la typologie et la taille des fenêtres orientées au sud sont des facteurs qui ont une grande influence sur la faisabilité de Minergie-P. Dans le cas d'une rénovation, il est cependant très difficile, voire impossible, d'agir sur ces facteurs. On peut alors s'interroger: au fond, peut-on moderniser selon Minergie-P? Les compromis souvent nécessaires lors de rénovations ne sont-ils pas de trop gros freins pour Minergie-P? Jusqu'à fin 2007, les exigences applicables aux nouvelles constructions et aux modernisations étaient identiques. Aucune modernisation Minergie-P n'a été certifiée au cours de cette période. Toutefois, quelques

bâtiments n'atteignaient pas la valeur exigée pour l'étanchéité à l'air mais répondaient à toutes les autres exigences.

Depuis 2008, les exigences applicables aux modernisations sont légèrement assouplies: l'exigence primaire posée à l'enveloppe du bâtiment est moins sévère. Il est désormais tenu compte du fait que bien souvent il est impossible d'apporter des améliorations après-coup pour supprimer les ponts thermiques. L'exigence concernant l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment a également été assouplie car les édifices rénovés n'ont pas et ne peuvent pas avoir la même étanchéité à l'air que les nouvelles constructions. Toutefois, dans l'ensemble, les exigences sont encore très sévères. C'est le cas notamment de l'indice de dépense d'énergie qui n'a pas été modifié par rapport aux nouvelles constructions, afin de garantir la compatibilité avec les objectifs de la société à 2000 watts pour les cas de modernisation (plus d'infos sur www.minergie.ch).

Ces adaptations traduisent la volonté de mettre en avant l'importance de la modernisation en matière de politique énergétique, sans dénaturer inutilement et affaiblir le standard. Lorsque l'on choisit de ré-

Illustr. 5: Différences entre Minergie et Minergie-P à l'exemple d'une maison familiale.

Illustr. 6: Bâtiment avec facteur d'enveloppe différent: Norddeutsche Landesbank Hannover (haut)

Illustr. 7: Immeuble commercial et de bureaux Bion Saint-Gall (SG-001-P; bas).



Illustr. 8: Exigences relatives aux besoins de chaleur pour le chauffage pour immeubles collectifs. La valeur limite $Q_{h,li}$ dépend principalement du facteur d'enveloppe du bâtiment A_{th}/A_E et de la catégorie du bâtiment. Les exigences relatives à la valeur limite selon SIA 380/1 sont corrigées par un facteur climatique en fonction de l'emplacement et de la station météorologique correspondante. Pour la ville de Lucerne par exemple, les valeurs limites SIA pour les constructions neuves sont 10% inférieures aux valeurs limites sur l'illustration. Pour le même bâtiment à Davos, les valeurs limites seraient alors supérieures de 39%.

nover entièrement un bâtiment, on peut légitimement se demander – qui plus est face aux nombreux compromis nécessaires – si une construction de remplacement ne serait pas «plus avantageuse», même si l'énergie grise requise dans ce cas est plus importante. Quels sont, toutefois, les grands défis à relever lorsque l'on souhaite effectuer une rénovation selon le standard

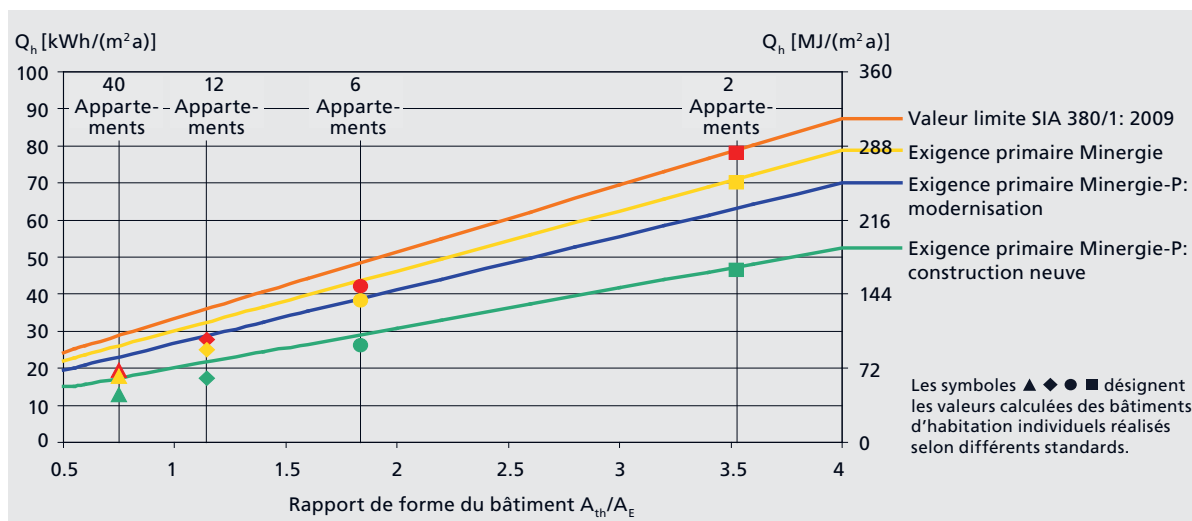
Minergie-P? Outre les points déjà évoqués au début et qui ne sont plus modifiables pour la plupart comme le facteur d'enveloppe par exemple, il s'agit surtout de l'étanchéité à l'air (spécialement pour les constructions en bois), des ponts thermiques (dans la zone du socle, contre une cave non chauffée, en cas de porte-à-faux en béton etc.) et de la délimitation de l'enveloppe thermique du bâtiment entre le rez-de-chaussée et le sous-sol. Les exigences relatives aux besoins de puissance thermique, aux besoins de chaleur pour le chauffage et à l'indice de dépense d'énergie sont généralement respectées. L'expérience a montré que ces exigences sont le plus facilement respectées dans les habitations collectives de grande taille et compactes. Le chauffage à bois ou la pompe à chaleur permet d'utiliser des sources d'énergie renouvelable.

Stratégies de solution

Quels sont les facteurs qui peuvent faire d'un édifice un bâtiment Minergie-P ou non? Quelles décisions peuvent influencer ces facteurs?

Emplacement et orientation

Le point essentiel est l'emplacement du bâtiment, respectivement l'emplacement climatique: un fort ombrage dû à l'horizon ou aux bâtiments voisins rend les contraintes plus compliquées même si ce point n'est souvent pas aussi décisif qu'on le pense: ainsi, un bâtiment Minergie-P a



déjà été réalisé à Zermatt, dans un lieu entouré de hautes montagnes (VS001-P). Si les emplacements en montagne ont pour inconvénient des besoins de chauffage accrus dus aux températures extérieures plus basses, les modèles de calcul montrent cependant qu'ils sont souvent compensés par des apports de chaleur solaire supérieurs grâce à la disparition du brouillard en hiver. Lorsque le côté calme ou la vue privilégiée d'un bâtiment se trouvent au nord, se pose alors inévitablement la question de savoir si l'orientation avantageuse au sud des grandes fenêtres est concevable. L'exemple typique est celui d'une maison sur la rive sud d'un lac: la vue est orientée au nord, l'apport énergétique provient du sud. Il convient alors d'étudier, en temps voulu, des solutions qui tiennent compte de cette situation: une stratégie de réduction des déperditions énergétiques s'impose donc dans ce cas, tandis que dans d'autres lieux la stratégie de l'optimisation des apports est plus prometteuse.

Compacité et enveloppe thermique du bâtiment

La forme du bâtiment, qui a été quantifiée grâce au facteur d'enveloppe selon la norme SIA 380/1 (rapport entre la surface de l'enveloppe thermique et la surface de référence énergétique; A_{th}/A_E) a une influence décisive sur la consommation d'énergie. Tandis qu'une maison d'habitation individuelle présente un facteur d'enveloppe 2 et plus, celui-ci peut être inférieur à 1 pour les habitations collectives de grande taille et compactes. Cela signifie donc que plus un bâtiment est grand et compact, plus ses besoins spécifiques de chaleur pour le chauffage sont faibles à qualité thermique d'enveloppe identique (Illustration 8). Ainsi, l'exigence primaire dépend du facteur d'enveloppe. Cela n'est pas vrai pour la valeur limite Minergie-P, les bâtiments compacts s'en tirent mieux. En principe, toute la maison doit être intégrée dans la mesure du possible dans l'enveloppe thermique du bâtiment afin d'obtenir un facteur d'enveloppe le plus faible possible. En outre, plus cette enveloppe du

bâtiment est dessinée de manière simple, moins il y aura de raccords et de liaisons, et donc de ponts thermiques. Il est également conseillé de placer la centrale technique à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment afin de pouvoir ainsi utiliser les déperditions de la production de chaleur et de la distribution de chaleur pour chauffer les locaux.

Isolation de l'enveloppe du bâtiment

Outre le facteur d'enveloppe et l'enveloppe thermique du bâtiment, l'isolation thermique a également une grande importance. Les surfaces horizontales sont plus fortement isolées que les surfaces verticales pour des raisons financières (mais également architecturales). En effet, les raccords de fenêtres et de portes, d'acrotères de toiture et de socle sont non seulement plus économiques, mais également plus simples à mettre en place si l'isolation est plus faible. Une enveloppe de bâtiment bien isolée est et restera le point essentiel d'un bâtiment efficace sur le plan énergétique!

Fenêtres

Un autre point important sont les fenêtres: elles doivent d'une part éviter les déperditions par transmission et d'autre part optimiser les apports solaires. Ces deux exigences montrent que le bilan énergétique du bâtiment peut être optimisé, surtout au niveau des fenêtres. La fenêtre optimale présente une valeur U faible, une valeur g élevée, une part de cadre réduite et une protection solaire extérieure mobile. Plus la masse thermique active est grande, meilleur est le stockage des apports solaires et leur utilisation de manière ultérieure, c'est-à-dire leur restitution dans l'espace intérieur.

Ponts thermiques

Si la forme du bâtiment (facteur d'enveloppe), l'isolation thermique et les fenêtres sont déterminées, il convient d'accorder l'attention nécessaire aux ponts thermiques car ils font souvent pencher la balance lorsqu'il s'agit d'atteindre les valeurs limites prescrites. Du fait d'une bonne en-



Illustr. 9: Fenêtres pour constructions Minergie-P. (1a-hunkeler)

veloppe, les ponts thermiques peuvent constituer rapidement, sans attention particulière, 30 % ou plus des déperditions de chaleur. Avec une planification tenant compte de tous les détails, les ponts thermiques peuvent – ou mieux – doivent être réduits à 10 % (ou moins) des pertes de chaleur, car, dans de nombreux cas, il est impossible de compenser les ponts thermiques existants par une isolation encore meilleure de l'enveloppe.

Étanchéité à l'air

Il ne faut pas oublier l'étanchéité à l'air, en lien avec l'enveloppe du bâtiment. La base pour une étanchéité à l'air élevée est déjà posée lors de la planification. Cet objectif doit ensuite être visé de manière délibérée et soignée lors de la mise en œuvre. Les exécutants sur place doivent être sensibilisés à l'étanchéité à l'air et un bon contrôle de la qualité évite les surprises désagréables.

Minergie-P: les points importants

- Rapport surface de l'enveloppe-volume avantageux, forme compacte
- Emplacement bien ensoleillé
- Ombrage faible ou inexistant de la part des immeubles voisins et des balcons
- Apports maximums par rayonnement solaire (grandes surfaces vitrées orientées vers le sud) et utilisation optimale des apports (éléments de construction avec une capacité d'accumulation thermique favorable)
- Protection solaire extérieure mobile (protection solaire en été)
- Surfaces horizontales (planchers et plafonds): valeur U de 0,10 W/m²K
- Surfaces verticales (murs): valeur U de 0,15 W/m²K
- Valeur U des fenêtres inférieure à 1,0 W/m²K, de préférence de 0,8 W/m²K (triple vitrage)
- Ponts thermiques réduits
- Enveloppe du bâtiment étanche à l'air
- Installation d'aération avec récupération de chaleur
- Utilisation des énergies renouvelables

Pour résumer: il existe encore de nombreux degrés de liberté dans la réalisation d'un bâtiment Minergie-P, même si certaines contraintes doivent être respectées. En principe et comme l'expérience le montre, plus un concept ou un système est simple, plus il est adapté à Minergie-P et plus il apporte la garantie d'un fonctionnement parfait et d'utilisateurs satisfaits.

Protection solaire et masse thermique

Le sujet de la protection solaire en été prend de l'importance avec l'augmentation progressive des taux de surface vitrée dans l'enveloppe du bâtiment (depuis longtemps déjà dans les bâtiments administratifs et désormais de plus en plus dans les bâtiments d'habitation). Si, en hiver, des apports solaires élevés sont généralement souhaités, ils peuvent, en été, entraîner une surchauffe désagréable du bâtiment. Ce phénomène n'est certes pas typique de Minergie-P, mais doit faire l'objet d'une attention particulière à cet égard. Le respect des mesures de construction prescrites par les normes correspondantes SIA 180 et SIA 382/1, en particulier une protection solaire extérieure, efficace et si possible automatisée, est impératif. La protection contre la surchauffe du bâtiment en été doit ainsi être prouvée lors de la procédure de certification (de manière analogue à Minergie). Il s'agit de la condition préalable pour un bâtiment confortable sous tous les aspects. Les bâtiments Minergie-P doivent être refroidis. L'énergie nécessaire à cela doit néanmoins être intégrée dans l'indice pondéré de dépense d'énergie. Un refroidissement ne doit néanmoins être envisagé seulement s'il faut s'attendre à des températures intérieures élevées malgré toutes les mesures prises au niveau constructif. En outre, un besoin de refroidissement à l'intérieur du logement est généralement le signe d'une mauvaise planification surtout dans le domaine de l'habitation.

Installations techniques du bâtiment

Dans le cadre de la conception des installations techniques du bâtiment (production de chaleur, aération), il existe au fond beaucoup de libertés, comme le montrent les bâtiments réalisés jusqu'ici. Dans une approche de planification intégrale, le concept des installations techniques doit être adapté au bâtiment. Pour ce qui est du mode de distribution de chaleur, les systèmes dominants dans les bâtiments Minergie-P réalisés jusqu'à présent sont le chauffage à air chaud et le chauffage au sol qui représentent chacun 35 % du marché. Contrairement à l'idée largement ré-

pandue, le chauffage à air chaud n'est obligatoire ni avec Minergie-P ni avec la maison passive, même s'il est fortement associé à la philosophie de la maison passive. En Suisse, on est toutefois un peu plus sceptique vis-à-vis du chauffage à air chaud qu'en Allemagne ou en Autriche, pour différentes raisons [3]. Le choix de l'agent énergétique joue un rôle décisif dans le cadre de la production de chaleur. Il entre directement dans le calcul de l'indice de dépense d'énergie par le biais des facteurs de pondération et est, par conséquent, un facteur important pour la satisfaction de la valeur limite Minergie-P. Il n'est donc pas étonnant que la pompe à chaleur (part de plus de 50 %) et le chauffage à bois (part de près de 30 %) dominent dans les bâtiments réalisés jusqu'à présent. Grâce au facteur de pondération de 0,7 pour le bois ou de 2,0 pour l'électricité (avec lequel pour un coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur supérieur à 2,0, on obtient également une valeur globale inférieure à 1,0), on obtient quasiment un bon avec ces systèmes.

Appareils électroménagers à basse consommation

Afin de garantir non seulement une faible consommation d'énergie thermique mais aussi une faible consommation d'électricité, les appareils électroménagers encastrés doivent relever de la classe d'efficacité énergétique A ou A+. Il existe, dans le commerce, une gamme de produits de plus en plus grande qui respectent ces exigences (www.topten.ch).

Eclairage à basse consommation

Alors que dans l'habitat, l'éclairage ne fait l'objet que de recommandations et non d'exigences, le respect de la valeur limite Minergie selon la norme SIA 380/4 est exigé dans tous les autres domaines d'utilisation. Ainsi, pour les bâtiments plus importants, il est intéressant de faire appel pour la conception de l'éclairage à un concepteur d'éclairage spécialisé afin de garantir une solution satisfaisant les exigences. Il est néanmoins plus simple de choisir des lampes certifiées Minergie. Le

site Internet www.toplicht.ch propose une liste de lampes Minergie.

Processus de planification et de construction

Un projet Minergie-P couronné de succès implique une planification interdisciplinaire conséquente, dès le départ. Prendre la décision de construire le bâtiment dans le respect des exigences de Minergie-P seulement au cours de la planification est certes possible mais entraîne presque toujours des coûts supplémentaires élevés. Un tâtonnement progressif est coûteux et l'échec du projet pour des raisons financières est programmé. C'est pourquoi, cela vaut la peine de recueillir au tout début l'engagement de tous les acteurs du projet vis-à-vis de l'objectif visé «Minergie-P» et d'impliquer très tôt dans le projet des professionnels tels que des physiciens du bâtiment ou des concepteurs d'installations techniques. Grâce à une approche interdisciplinaire et intégrale, associée à une bonne communication entre l'architecte, l'équipe de planification et le maître d'ouvrage, on parvient à planifier le bâtiment comme un système global et à l'optimiser dès le départ pour l'objectif Minergie-P. Les coûts de planification pour un bâtiment Minergie-P sont généralement supérieurs à celle d'un bâtiment conventionnel car la réflexion relative à la conception constitue une phase clé. Afin de réduire au minimum ces coûts supplémentaires, il est recommandé de faire appel à des concepteurs expérimentés. Un manque d'expérience peut être compensé par une bonne formation, c'est-à-dire par des compétences professionnelles. Si les exigences imposées à la planification sont élevées, celles imposées à la mise en œuvre le sont tout autant. Le facteur de l'étanchéité à l'air est également «décidé» sur le chantier. Dans ce cas, il est important de procéder à un contrôle régulier afin de pouvoir atteindre la qualité exigée au niveau de la mise en œuvre.

Sources

[1] Documentation D 0216: Objectifs de performance énergétique de la SIA; So-

ciété suisse des ingénieurs et des architectes SIA; Zurich 2006

[2] Umweltwirkungen von Energiestandards, Perspektiven für den Gebäudepark Schweiz. Rapport final, décembre 2006.

Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, programme de recherche Fondements de l'économie énergétique

[3] Minergie-P et maison passive: Chauffage à air et autres systèmes de distribution de chaleur, étude de la HTA Lucerne, Horw 2006; voir www.minergie.ch

Tableau 3: Prédispositions pour Minergie-P

➔ Condition optimale pour atteindre Minergie-P

Orientation	
L'orientation principale des (grandes) fenêtres est l'orientation au sud, au sud-ouest ou au sud-est. (En tenant compte de la protection thermique en été: mesures de construction selon la norme SIA 382/1; protection solaire automatisée).	➔
Les grandes surfaces de fenêtre sont orientées au nord.	➡

Ombrage	
Balcons à côté de la baie vitrée ou d'une profondeur max. de 11 m. Horizon dégagé à 10° à 15° au sud.	➔
Balcons devant de grandes surfaces de fenêtre au sud. Maisons environnantes ou horizon supérieur à 20°.	➡

Enveloppe thermique du bâtiment	
Intégralité du bâtiment à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment.	➔
Les locaux à l'extérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment empêchent d'obtenir une forme compacte et entraînent la formation de ponts thermiques.	➡

Protection thermique en été	
Proportion de fenêtres orientées au sud inférieure à 50 %. Capacité d'accumulation thermique indiquée par au moins deux éléments de construction massifs (sol, mur ou plafond). Ombrage extérieur (fixe, comme p.ex. un balcon) ou commande automatique de la protection solaire.	➔
Proportion de fenêtres orientées au sud supérieure à 70 %. Masse faible (un ou aucun élément de construction massif). Fenêtre de toit supérieure à 0,5 m ² par local.	➡

La boussole Minergie-P

La boussole Minergie-P permet d'indiquer dès la première phase du projet si un bâtiment peut ou non satisfaire aux conditions préalables de Minergie-P. Si ces déclarations sont accrocheuses, elles contribuent néanmoins à éviter des erreurs de planification grossières au cours de la phase de conception. Les instructions s'appliquent principalement aux bâtiments d'habitation, mais conviennent aussi logiquement aux autres affectations.

➡ Condition problématique

Compacité	
Le bâtiment est compact. Les découpes et les éléments de construction en porte-à-faux dans l'enveloppe thermique du bâtiment n'existent pas ou uniquement de manière isolée.	➔
Différentes découpes ou divers avancements augmentent le rapport A_{th}/A_E et entraînent la formation de ponts thermiques.	➡

Fenêtres	
Fenêtre d'une valeur U (cadre, intercalaire et verre) inférieure à 0,9 W/ m ² . Valeur U de verre (mesurée selon la norme EN!) inférieure ou égale à 0,6 W/ m ² K.	➔
Valeur U de la fenêtre supérieure à 1,0 W/ m ² K.	➡

Ponts thermiques	
Les cadres de fenêtre disposent de la meilleure isolation possible. Les balcons ainsi que les acrotères de toiture sont thermiquement isolés.	➔
Isolations thermiques pour raisons statiques impossibles. Cadres de fenêtre non isolés.	➡

Façade opaque	
Constructions ayant des valeurs U de 0,12 W/m ² K.	➔
Construct. ayant des valeurs U supérieures à 0,15 W/m ² K.	➡

Installations techniques du bâtiment	
Utilisation d'énergies renouvelables (bois, soleil) ou chaleur du sous-sol.	➔
Pompe à chaleur avec un mauvais coefficient de performance, production d'eau chaude sanitaire avec chauffe-eau électrique, combustibles fossiles sans appoint avec énergies renouvelables, besoin de refroidissement.	➡

Procédure de calcul et certification

Adrian Tschui

Avantages et exigences d'une certification

Un bâtiment ayant obtenu avec succès la certification reçoit le label protégé Minergie-P. Celui-ci confirme que le bâtiment respecte toutes les exigences du standard, en particulier qu'il présente une consommation énergétique calculée comme faible et qu'il dispose d'un niveau de confort élevé et d'une bonne qualité d'air intérieur. A cela est associé un maintien de la valeur de la maison supérieure à la moyenne, ce qui lui confère un meilleur prix à la location ou à la vente. Le label Minergie-P peut être utilisé dans la communication en rapport avec le bâtiment certifié et donne droit à des subventions dans certains cantons et certaines communes et à des montants d'hypothèque préférentiels auprès de certaines banques.

Un label en quatre étapes

Étape 1

Le projet est mis au point par une équipe interdisciplinaire dès la phase de conception. L'équipe est généralement composée du maître d'ouvrage, de l'architecte, du physicien du bâtiment, des planificateurs techniques (chauffage, ventilation, électricité) et éventuellement de l'ingénieur civil, du planificateur de l'éclairagiste etc. Elle a pour mission principale de déterminer si les facteurs essentiels pour une certification Minergie-P peuvent être satisfaits:

- Définir la forme du bâtiment (compacité) et l'orientation des façades principales
- Déterminer l'enveloppe thermique du bâtiment et le niveau d'étanchéité à l'air de l'ensemble de la maison
- Définition des éléments de construction opaques (définition des couches, construction; influence du terrain)
- Identifier les ponts thermiques et engager des mesures d'optimisation
- Définir les fenêtres et les cadres de fenêtre (point central dans la conception Minergie-P!)

	Exigence (construction neuve)	Justificatif selon
Besoin de chaleur de chauffage (exigence primaire enveloppe du bâtiment)	60 % de $Q_{h,li}$	Programme de calcul SIA 380/1
Indice de dépense d'énergie pondéré Chaleur (valeur limite Minergie-P)	30 kWh/m ² a (exemple habitation)	Formulaire justificatif Schéma Minergie-P et installations techniques
Besoins spécifiques de puissance thermique	10 W/m ² (seulement en cas de chauffage à air)	Calcul auxiliaire ou programme de calcul SIA 380/1
Appareils électroménagers efficaces	Appareils électroménagers de la classe d'efficacité A, resp. A+	Auto-déclaration par requérant
Protection solaire en été	Variante 1: Evaluation globale de cas standard Variante 2: Justificatif selon norme SIA 382/1 Variante 3: Calcul avec l'outil SIA climatisation	Formulaire justificatif Minergie-P (évent. avec justificatifs complémentaires)
Perméabilité de l'air	$n_{50, st} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	Mesure par une entreprise spécialisée
Amenée d'air extérieur contrôlée	Un des systèmes d'aération standard de Minergie	Schéma des installations techniques

■ Eviter les éléments fixes qui créent des ombres projetées

■ Adapter les installations techniques du bâtiment au bâtiment et à son environnement

■ Optimisation du système global (p.ex. vérifier les synergies entre la production de chaleur pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire). Les contraintes légales et financières doivent également être déterminées en temps voulu:

■ Subventions et bonus d'utilisation (canton, commune)

■ Hypothèques bancaires à des conditions préférentielles

Les données du projet (géométrie du bâtiment, caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, installations techniques du bâtiment etc.) sont saisies dans les outils de

Tableau 4: Exigences imposées à la maison Minergie-P (immeuble collectif, construction neuve).

$Q_{h, li}$: valeur limite des besoins de chaleur pour le chauffage pour constructions neuves de la norme SIA 380/1.

calcul (norme SIA 380/1 [1], formulaire justificatif Minergie-P [2]). En complément, différents outils d'aide peuvent être utilisés pour le calcul des valeurs b, des valeurs U, des ponts thermiques, des coefficients de performance annuels des pompes à chaleur etc. La plupart du temps, les exigences de Minergie-P ne sont pas encore satisfaites à la première conception. Au cours du processus d'optimisation qui suit, le projet est remanié et optimisé jusqu'à ce que l'ensemble des exigences soient satisfaites. Ces tâches doivent également être menées par l'équipe, de manière interdisciplinaire. Enfin, un dossier de demande est établi selon les prescriptions de la liste de contrôle (consulter le site Internet www.minergie.ch → Documents & Justificatifs → Minergie-P). Il comprend les documents suivants:

- Formulaire de demande (signé par le requérant, le maître d'ouvrage et les planificateurs spécialisés).
- Calcul selon la norme SIA 380/1, y compris signature de l'auteur du justificatif et du projet d'isolation thermique.
- Calcul de la valeur U des éléments de construction opaques, y compris déclaration des matériaux d'isolation thermique prévus.
- Détermination des ponts thermiques selon le Catalogue des ponts thermiques [3] ou à l'aide d'un programme de calcul des ponts thermiques. Le programme donne les valeurs les plus exactes, c'est-à-dire aussi les plus faibles (les valeurs figurant dans le Catalogue des ponts thermiques ont tendance à être du côté «le plus sûr»,

c'est-à-dire «le moins avantageux» pour le requérant).

- Calcul de la valeur U des fenêtres avec prise en compte des cadres, de l'intercalaire et de la vitre (caractéristique du verre selon EN 673).
- Plan de situation (ombrages, horizon).
- Plans du bâtiment: plan avec l'indication de l'enveloppe thermique du bâtiment et la surface de référence énergétique, façades avec indication claire des éléments de construction et des surfaces (ils doivent correspondre au calcul selon la norme SIA 380/1) et désignation claire des différentes fenêtres.
- Détails de construction.
- Fiches techniques: aération, chauffage, production d'eau chaude sanitaire, cadres de fenêtre, type de verre, isolations.
- Schéma des installations techniques (chauffage avec les composants utilisés et aération avec débits d'air et tracé des conduites, p.ex. en lien avec le puits canadien etc.)

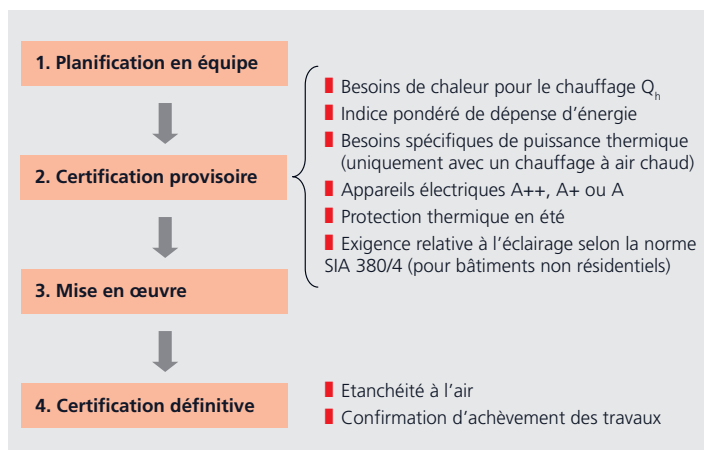
Étape 2

La demande est déposée auprès des services de l'énergie du canton local qui transmettent le dossier à l'office de certification Minergie-P. Remarque: dans certains cantons et certaines communes, la demande Minergie-P remplace le justificatif énergétique légal et évite aux planificateurs des procédures de calcul supplémentaires. L'office de certification Minergie-P examine les documents remis (intégralité, exactitude des calculs, fonctionnalité des solutions choisies etc.) et établit, si l'ensemble des exigences sont respectées, un certificat provisoire avec un numéro de certification. A partir de ce moment, le bâtiment peut être désigné bâtiment Minergie-P.

Étape 3

Le bâtiment est réalisé et l'assurance qualité de la mise en œuvre fait l'objet d'une attention très élevée lors de cette phase. Il convient de veiller à ce que le bâtiment soit également conforme dans les faits à la planification (matériaux, composants); apporter surtout une grande importance à la qualité de mise en œuvre en matière

Illustr. 10: La certification en quatre étapes.



d'étanchéité à l'air et d'absence de ponts thermiques.

Il convient de respecter les points suivants:

- Information et sensibilisation des ouvriers vis-à-vis de Minergie-P, surtout en ce qui concerne l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment.

- Vérification des matériaux d'isolation utilisés et des épaisseurs d'isolation.

- Vérification de l'étanchéité à l'air au niveau des joints (expertiser l'ensemble des éléments de construction).

- Vérification de la pertinence sur le plan énergétique des modifications de mise en œuvre éventuellement nécessaires et en cas de pertinence sur le plan énergétique, en informer l'office de certification.

Étape 4

L'étanchéité de l'enveloppe des différentes unités d'utilisation (p.ex. appartements) est vérifiée à l'aide d'une mesure d'étanchéité. La procédure, la préparation du bâtiment et le moment approprié pour réaliser la mesure sont décrits de manière détaillée dans la «Directive pour les mesurages de la perméabilité à l'air sur des constructions Minergie-P et Minergie» [4]. La satisfaction des exigences élevées en matière d'étanchéité à l'air est la confirmation d'une qualité de mise en œuvre élevée de l'enveloppe du bâtiment. Une fois le test d'étanchéité à l'air réussi et la construction achevée, le protocole de mesure et la confirmation de l'achèvement des travaux de l'office de certification Minergie-P sont remis. En apposant leur signature sur la confirmation d'achèvement des travaux, le requérant, le maître d'ouvrage ainsi que les entrepreneurs (pour l'enveloppe du bâtiment, l'aération et le chauffage) assurent que l'ensemble des prescriptions de Minergie-P ont été appliquées conformément à la demande de certification. Le bâtiment peut alors être définitivement certifié et le processus de certification est terminé.

Contrôle aléatoire

Au moins 10 % des bâtiments certifiés sont soumis lors de la phase de mise en œuvre ou après l'achèvement des travaux

à un contrôle aléatoire. Si des incompatibilités par rapport à la demande sont constatées dans le cadre de ce contrôle, la demande doit être corrigée de manière correspondante et de nouveau déposée ou les incompatibilités doivent être corrigées sur le bâtiment. A défaut, le certificat est retiré et une pénalité est éventuellement fixée (voir Règlement Minergie-P).

Information des utilisateurs

Les utilisateurs et exploitants du bâtiment doivent être informés sur les particularités et les composants spéciaux d'un bâtiment Minergie-P, p.ex. grâce à la brochure «Jetzt wohnen Sie in einem Minergie-Haus» [5]. Différentes études de constructions neuves de tout standard montrent que la consommation d'énergie réelle peut être comprise entre 50 et 400 % des besoins énergétiques calculés. Ces différences s'expliquent souvent par le comportement des utilisateurs.

Justificatif de la protection thermique en été

Minergie-P exige, tout comme Minergie, une protection thermique suffisante en été. Celle-ci est basée sur la norme SIA 382/1. Ce sujet est traité dans la section suivante dans la mesure où il est exigé pour obtenir le justificatif Minergie-P. La norme SIA 382/1 «Installations de ventilation et de climatisation Bases générales et performances» [6] définit les exigences de construction pour les bâtiments avec installations de ventilation et de climatisation. Ces exigences doivent être respectées indépendamment d'une certification Minergie-P (voir également à ce sujet le chapitre 5 La protection thermique en été). Dans le justificatif Minergie-P, il est vérifié à l'aide de différents critères si les exigences de construction et d'exploitation concernant la protection thermique en été sont respectées. Cette évaluation sous la forme d'une déclaration sur l'honneur effectuée par le requérant intervient dans la fiche du registre «Été» du formulaire justificatif pour les locaux critiques. Il existe dans ce cas trois variantes, le

respect d'au moins une variante étant impératif.

Variante 1: évaluation globale de cas standard

Pour les solutions standard, des exigences sont définies pour lesquelles un système de refroidissement pour le respect du confort thermique en été n'est pas nécessaire. Cela s'applique si les conditions suivantes sont réunies (Illustration 11):

- Pas de lanterneau ou de fenêtre de toitures. Exception: dans les bâtiments d'habitation, sont admis les petites fenêtres de toitures ou lanternaux jusqu'à une surface vitrée de 0,5 m² par pièce, p. ex. généralement pour les couloirs ou salle de bain/WC.

- Protection solaire extérieure mobile par volets roulants ou stores à lamelles (valeur g max. 0,1).

- Un rafraîchissement nocturne par ouverture des fenêtres est possible.

- Les charges thermiques internes ne dépassent pas les valeurs standard du cahier technique SIA 2024 [10].

Différentes situations peuvent exister dans une zone (p. ex. appartement). La variante 1 n'est respectée que si les exigences conformément à l'illustration 11 sont satisfaites pour toutes les pièces. Il convient de déclarer dans l'outil de justificatif pour chacun des cas A à D de l'illustration 12, décrits dans le justificatif, si pour la zone/l'affectation, la situation:

- n'existe pas (la description ne correspond pas complètement) → n.a. (non applicable);

- existe (la description correspond totalement) et la condition est satisfaite → Oui;

- existe (la description correspond totalement) et la condition n'est pas satisfaite → Non.

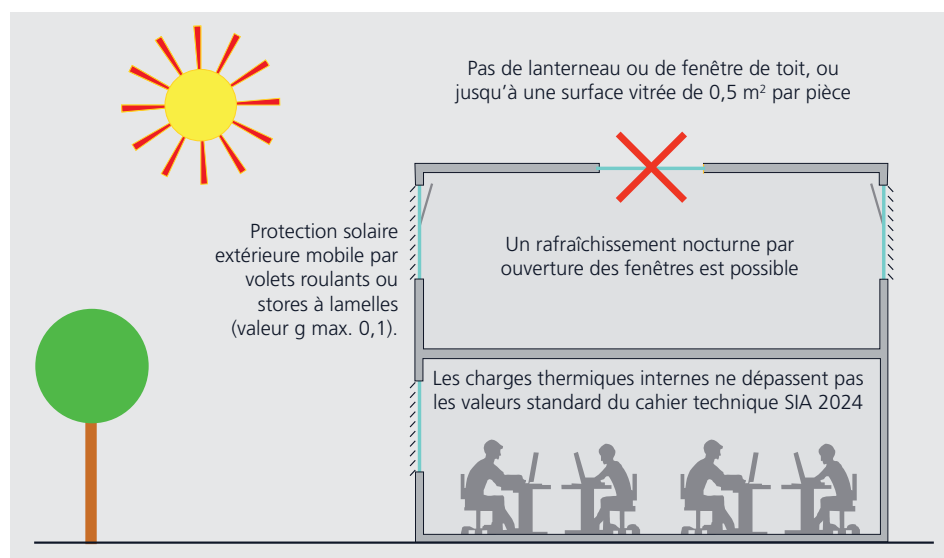
Les cas standard proviennent d'une étude de paramètres [7] qui a été menée sur une maison d'habitation individuelle et un immeuble collectif. Il est également tenu compte des expériences qui ont été recueillies dans l'étude «Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäuden in Holzbauweise» [8].

Variante 2: justificatif selon SIA 382/1

Minergie propose un outil qui permet de vérifier les situations qui ne correspondent pas aux cas standard de la variante 1. Les exigences selon la norme SIA 382/1 concernant la protection solaire, la capacité d'accumulation thermique et les charges internes ainsi que la possibilité d'aération par les fenêtres doivent être satisfaites. Si les critères sont respectés, la protection thermique en été sans refroidissement mécanique est garantie.

Variante 3: outil SIA Klimatisierung

Du point de vue du standard Minergie, il est possible d'intégrer un système de refroidissement dans toutes les catégories de bâtiment sans devoir le justifier. Mais



Illustr. 11: Exigences pour tous les cas standard de la variante 1.

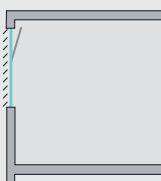
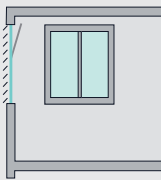
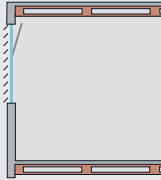
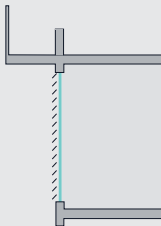
les prescriptions énergétiques cantonales qui associent certaines conditions au refroidissement sont déterminantes. Pour Minergie-P, un refroidissement est exigé lorsque l'on s'attend à des températures d'air ambiant élevées en été. Les besoins énergétiques pour le refroidissement et l'humidification doivent donc être calculés à l'aide de l'Outil SIA Klimatisierung pour toutes les pièces refroidies et doivent être pris en compte dans la demande (y compris les besoins énergétiques pour la ventilation). De plus, le calcul à l'aide de l'Outil SIA doit toujours être effectué lorsque la variante 1 ou 2 n'est pas satisfaite. Ce calcul doit être réalisé au minimum pour les pièces critiques (p.ex. les pièces d'angle, avec surface vitrée élevée et/ou lanterneaux etc.). Au moyen d'une simulation dynamique simplifiée, en plus de la température ambiante des locaux, l'outil calcule les besoins de puissance et d'énergie spécifiques au niveau thermique et électrique pour le refroidissement et le chauffage des locaux, pour le transport, le refroidissement, le chauffage, l'humidification et la déshumidification de l'air. En outre, les besoins d'énergie des appareils électriques (équipement d'exploitation) et de l'éclairage pris en compte, car en tant que sources de chaleur internes ils influencent le comportement thermique des locaux de manière décisive.

Bâtiments d'habitation avec refroidissement indépendant

Dans les habitations individuelles et collectives, on utilise parfois le chauffage au sol ou un système d'éléments de construction thermoactifs (TABS) pour le refroidissement. L'énergie de refroidissement provient directement des sondes géothermiques (installées de toute façon pour la production de chauffage) ou de la nappe phréatique. Pour procéder au refroidissement, il suffit simplement de mettre en marche les circulateurs de la sonde géothermique et de la distribution de chaleur. Dans la mesure où les exigences de construction selon la norme SIA 382/1 relative à la protection thermique en été sont respectées, la déclaration selon les va-

riantes 1, 2 ou 3 est supprimée et lorsque cette solution est appliquée, il n'est pas nécessaire de réaliser un calcul avec l'Outil SIA Klimatisierung. Une estimation des besoins énergétiques des circulateurs par le biais du temps de fonctionnement (généralement 400 heures à pleine charge) et la prise en compte de ces besoins lors du calcul de l'indice pondéré de dépense d'énergie suffisent. Cependant, l'utilisation d'un compresseur (climatiseur, pompe à chaleur réversible) pour le refroidissement exige la réalisation d'un calcul au moyen de l'Outil SIA Klimatisierung. L'outil SIA Klimatisierung peut être téléchargé (payant) sur www.energycodes.ch. Pour d'autres informations sur le thème de la protection thermique en été, veuillez lire le chapitre 5. Des informations détaillées sur le justificatif de la protection thermique en été sont disponibles dans les Instructions concernant le justificatif et l'Aide à

Illustr. 12: Exemple de cas standard pour bâtiments d'habitation.

	Cas A: Dalle en béton apparent à 80 % au moins. Pièces avec une seule façade. Condition: Surface vitrée de la façade inférieure à 70 %.
	Cas B: Dalle en béton apparent à 80 % au moins. Pièce d'angle. Condition: Surface vitrée inférieure à 50 % par façade.
	Cas C: Faux plafond en bois. Chape en ciment d'au moins 6 cm ou une chape anhydrite d'au moins 5 cm (résistance max. du revêtement de sol 0,1 m² K/W). Condition: Surface vitrée de la façade inférieure à 40 %.
	Cas D: Pièces avec façade sud uniquement. Surface vitrée de la façade supérieure à 70 %. Condition: Les surfaces vitrées sont ombragées par un balcon d'au moins 1 m de profondeur. Dalle en béton, chape en ciment d'au moins 6 cm ou une chape anhydrite d'au moins 5 cm (résistance max. du revêtement de sol 0,1 m² K/W); si ce n'est pas le cas, choisir n. a.

l'utilisation de Minergie (www.minergie.ch)
→ Documents & Justificatifs → Minergie-P).

Mesure d'étanchéité à l'air

Une enveloppe de bâtiment étanche réduit le risque de problèmes liés à la physique du bâtiment, énergétiques ou de confort. Il revient à l'aération douce d'assurer l'amenée d'air neuf nécessaire pour les résidents, ce qui n'est pas lié à l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Pour les mesures d'étanchéité à l'air pour les bâtiments Minergie-P, la procédure de mesure applicable est la procédure B conformément à la norme EN 13829, c'est-à-dire que toutes les ouvertures et les prises d'air sont fermées et colmatées. Une liste de contrôle détaillée mentionnant les ouvertures à fermer se trouve dans l'annexe D de la «Directive pour les mesurages de la perméabilité à l'air sur les constructions Minergie-P et Minergie». L'objectif de la procédure B est de déterminer uniquement les défauts d'étanchéité au niveau de l'enveloppe du bâtiment.

Le mesurage anticipé

Un mesurage de l'étanchéité à l'air peut également être effectué avant l'achèvement de la construction. Pour effectuer un tel «mesurage anticipé», il est nécessaire d'avoir réalisé tous les travaux d'étanchement de l'enveloppe du bâtiment ou de fermeture de la zone de mesure. Lorsque le résultat satisfait à la valeur limite, le résultat est alors reconnu pour la certification et il n'est pas nécessaire de procéder

à un autre mesurage de réception à l'achèvement de l'ouvrage. Dans le rapport relatif au mesurage anticipé, il y a lieu de décrire l'état de la construction et de spécifier en détails les étanchements provisoires. Souvent, un tel mesurage anticipé en cours de construction est opportun et il est souhaité par les entreprises car il permet de colmater facilement les éventuelles fuites.

Détermination de la zone de mesure

Pour Minergie-P, le point crucial se situe au niveau de l'étanchéité de l'enveloppe construite pour chaque résident (pour des raisons de confort, aucune fuite entre les différents logements n'est admise). Ainsi, pour les immeubles collectifs, les villas contiguës etc., on doit considérer chaque unité d'habitation en tant que zone de mesure indépendante et la mesurer séparément. Il ne faut toutefois pas extrapoler aux pièces individuelles le «principe des zones» prévalant pour les immeubles collectifs. Les cloisons et planchers intérieurs ne doivent pas être étanches à l'air! Dès lors, aucune valeur limite n'est imposée pour les locaux pris séparément (à l'intérieur d'une zone de mesure). Dans le cas d'immeubles comportant de nombreux appartements, on peut admettre que la qualité de la construction demeure semblable avec les mêmes matériaux utilisés. Ainsi peut-on limiter le nombre de mesurages de l'étanchéité à l'air nécessaires lors du contrôle de qualité. Le nombre d'appartements devant faire l'objet d'un mesu-

Conséquences possibles d'une enveloppe de bâtiment non étanche:

Substances toxiques/odeurs (de l'extérieur)

Problème sonore (joints de fenêtre)

Courant d'air

Température ambiante trop basse

Domages de construction (condensat)

Installation d'aération (problèmes de fonctionnement)

Dépense énergétiques (par exfiltration)



Illustr. 13: Une enveloppe de bâtiment non étanche peut engendrer différents problèmes. Il est donc impératif d'opter pour une enveloppe de bâtiment la plus étanche possible selon les règles actuelles d'architecture. Plus l'enveloppe est étanche, plus le risque que des problèmes de physique du bâtiment, énergétiques ou de confort surviennent est faible. Dans les bâtiments Minergie-P, l'alimentation en air extérieur nécessaire est assurée par le renouvellement d'air et n'est pas liée à l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. (Source: Directive)

rage avec Minergie-P se détermine en principe selon le document «Aide à l'utilisation Minergie-P». En général, les concepts de mesurage de l'étanchéité à l'air différents de la prescription [4] doivent être préalablement discutés avec l'office de certification correspondant.

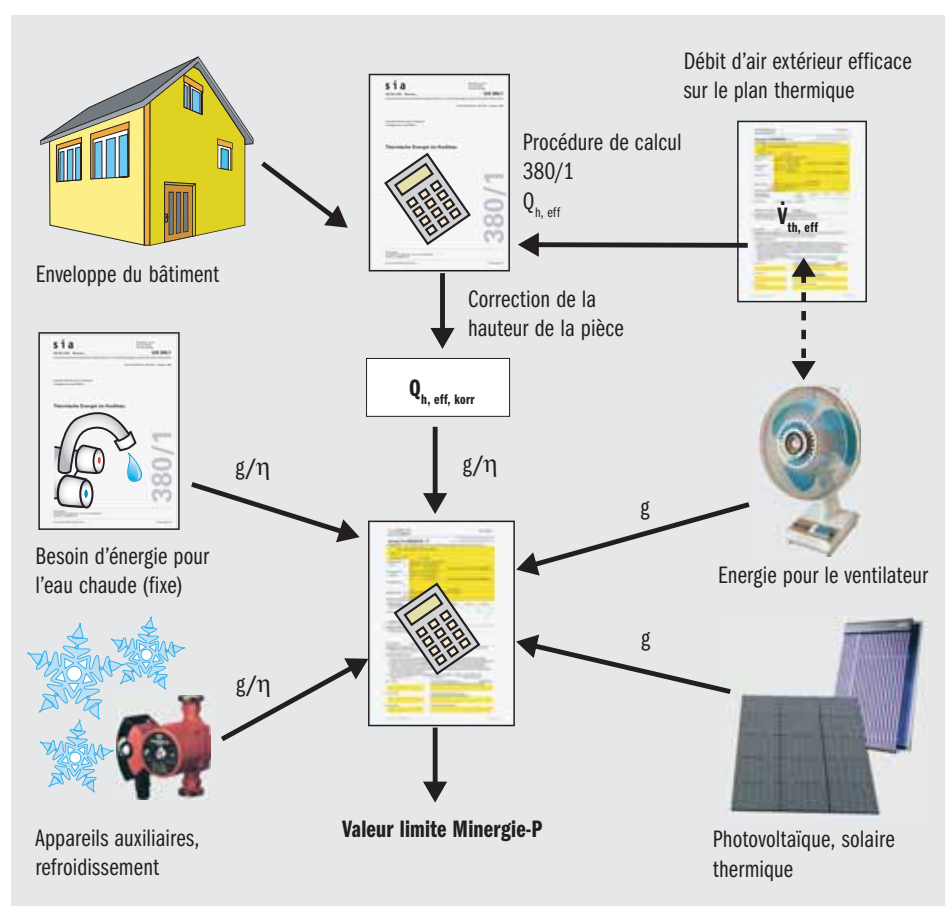
Préparation du bâtiment – Etat des zones voisines

Afin de pouvoir vérifier la zone, il convient d'ouvrir les fenêtres, les clapets de ventilation etc. pour le mesurage dans toutes les zones voisines et dans les pièces tampons à l'extérieur du périmètre d'étanchéité à l'air. Cela vaut également pour les caves non chauffées, les jardins d'hiver, les garages etc. Ces états effectifs pendant le mesurage doivent être décrits dans le procès-verbal de contrôle.

Procédure de calcul Minergie-P

Deux méthodes de calcul

La procédure de calcul selon Minergie-P a été mise au point sur le modèle de la procédure de calcul de Minergie et en s'appuyant sur les normes SIA en vigueur en Suisse. L'élément essentiel de cette procédure est le calcul des besoins de chaleur selon la norme SIA 380/1 [1]. Le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage selon la norme SIA 380/1 est effectué deux fois: une fois avec des données de saisie standard et une fois avec des données de saisie spécifiques au projet. Les valeurs utilisées lors du premier calcul sont les valeurs des conditions normales d'utilisation selon la norme SIA 380/1. La première méthode de calcul permet d'obtenir les besoins de chaleur pour le chauffage qui sont comparés à l'«Exigence primaire relative à l'enveloppe du bâtiment». Cela permet d'évaluer la qualité thermique de l'enveloppe du bâtiment. La seconde méthode sert à évaluer



Illustr. 14: Calcul de l'indice de dépense énergétique pondéré pour la chaleur et comparaison avec la valeur limite Minergie-P (rendement η et facteur de pondération g).

les besoins énergétiques au niveau de l'énergie finale pondérée (c.-à-d. en tenant compte des installations techniques du bâtiment et des agents énergétiques utilisés). Pour le calcul spécifique au bâtiment, c'est le débit d'air neuf thermiquement actif (conformément au justificatif Minergie-P) qui est utilisé contrairement à la première méthode de calcul (Illustration 14). Ces deux calculs s'effectuent simultanément à l'aide de la plupart des programmes de calcul disponibles dans le commerce. Les besoins de chaleur pour le chauffage obtenus grâce à la seconde méthode de calcul sont ensuite corrigés avec la hauteur des pièces et évalués avec la fraction utile η pour la production de chaleur (brûleur à mazout, chauffage à bois etc.) et le facteur de pondération g pour l'agent énergétique correspondant (électricité, gaz, bois etc.). Les besoins énergétiques pour la production d'eau chaude sanitaire, l'installation d'aération et les équipements auxiliaires sont calculés de la même manière avec les facteurs de pondération. La somme de ces énergies finales pondérées est ensuite mise en parallèle avec la valeur limite Minergie-P. La fraction utile et les facteurs de pondération prescrits par Minergie ont une grande influence sur la question de savoir si un bâtiment satisfait ou non à l'exigence. Par conséquent, ces facteurs font l'objet de vives discussions chez les professionnels. La pondération est un mélange de facteurs d'énergie primaire prouvés scientifiquement et de facteurs motivés sur le plan de la politique énergétique. Les fractions utiles prescrites dans le programme de calcul de Minergie sont conformes à l'état actuel de la technique. Si une meilleure fraction utile peut être démontrée par le requérant, la meilleure valeur peut être utilisée pour la certification.

Besoins spécifiques de puissance thermique avec un chauffage à air chaud

Lorsqu'un bâtiment est chauffé entièrement ou partiellement par le biais de l'aération mécanique, les besoins spécifiques de puissance thermique ne doivent pas dépasser 10 W/m^2 . Cette prescription garan-

tit que le renouvellement d'air n'est pas augmenté pour le chauffage et supérieur à celui nécessaire sur le plan de l'hygiène (avec une température d'air pulsé de 45°C et un renouvellement d'air de 0,4 fois, la pièce peut bénéficier d'une puissance de chauffage d'environ $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ via la ventilation). Important: avec Minergie-P, lors du calcul des besoins spécifiques de puissance thermique, les apports solaires et une partie des apports de chaleur internes sont pris en compte. La valeur ainsi calculée ne doit donc pas être utilisée pour le dimensionnement conforme à la norme de la distribution de chaleur et de la production de chaleur. Remarque: les combinaisons d'autres modes de distribution de chaleur avec un chauffage à air chaud pour couvrir un besoin de chauffage de plus de 10 W/m^2 sont possibles mais doivent avoir reçu l'accord de l'office de certification au préalable.

Influence de la production de chaleur

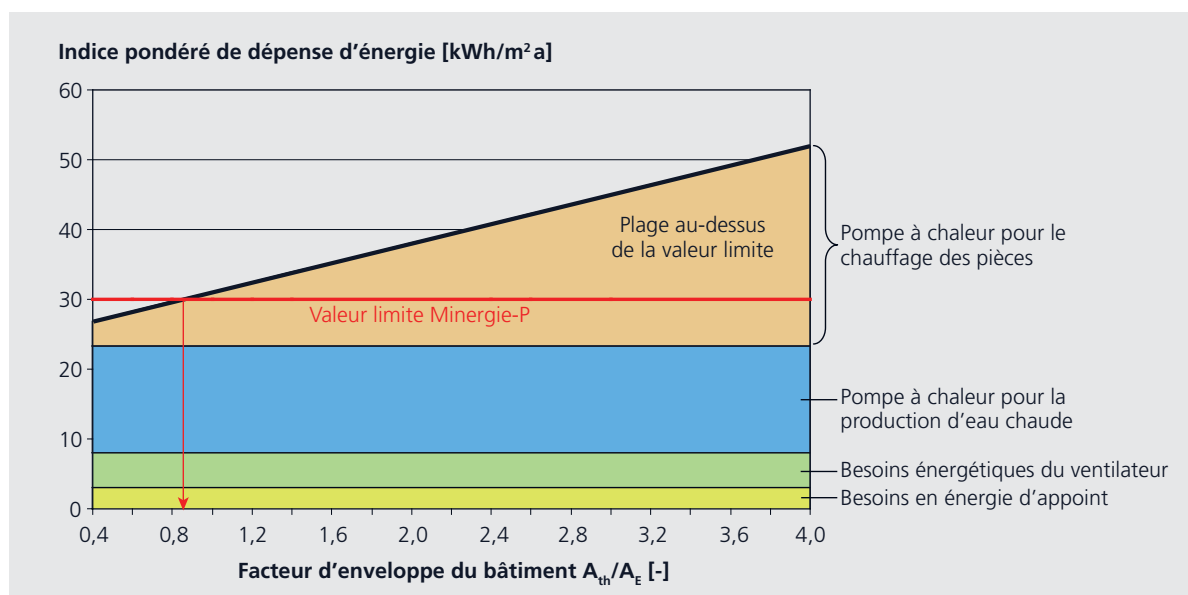
En raison du léger assouplissement de l'exigence primaire début 2009, lorsqu'un bâtiment satisfait encore à l'exigence primaire, les installations techniques ou la part d'énergies renouvelables deviennent un critère décisif quant à la capacité de la valeur limite Minergie-P à être satisfaite. L'illustration 00 montre le calcul de l'indice pondéré de dépense d'énergie:

■ L'énergie d'appoint de $1,5 \text{ kWh/m}^2$ est multipliée par le facteur de pondération de l'électricité 2,0.

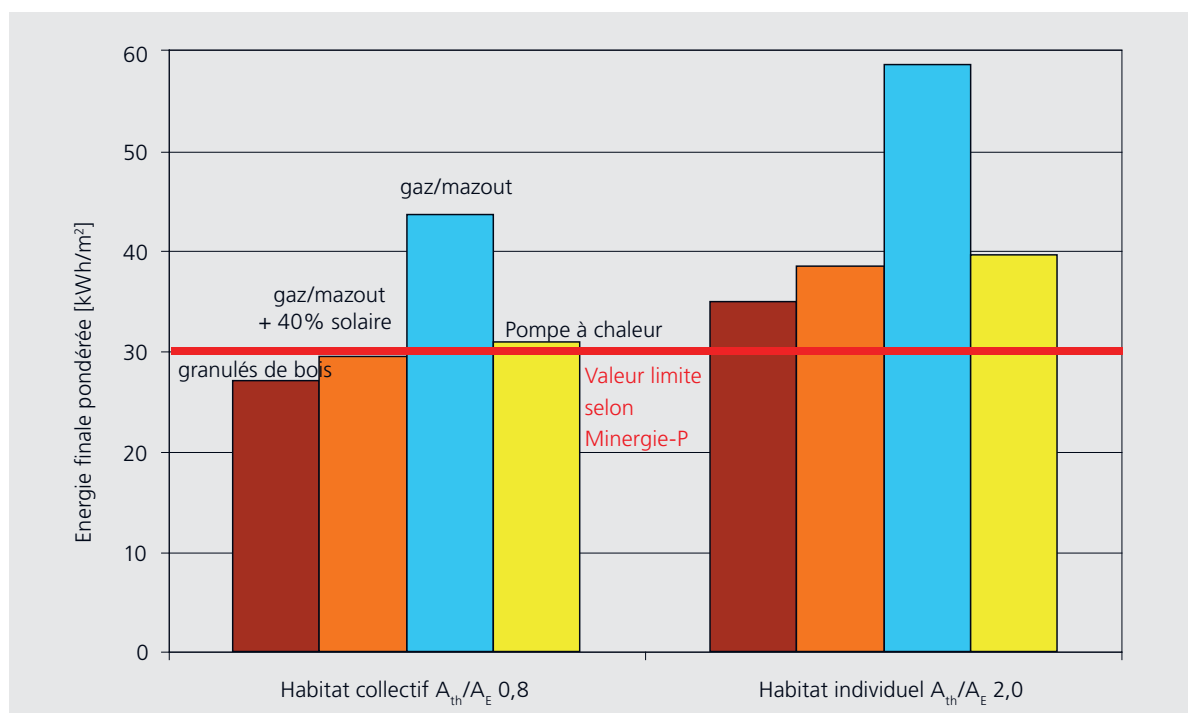
■ L'énergie du ventilateur de l'installation de renouvellement d'air de $2,5 \text{ kWh/m}^2$ est également multipliée par le facteur de pondération 2,0.

■ Les besoins de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire sont multipliés par le facteur de pondération 2,0 et divisés par le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire 2,7.

■ Les besoins de chaleur pour le chauffage (variant en fonction des valeurs limites dans le rapport A_{th}/A_E) sont multipliés par le facteur de pondération 2,0 et divisés par le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage 3,1. On



Illustr. 15: L'indice pondéré de dépense d'énergie pour la chaleur (énergie finale pondérée) se compose des chiffres relatifs aux besoins pour l'énergie d'appoint, l'aération, l'eau chaude sanitaire et le chauffage effectif. Dans l'exemple, la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est produite par une pompe à chaleur.



Illustr. 16: Indice pondéré de dépense d'énergie (énergie finale) pour un immeuble collectif avec des générateurs de chaleur tels qu'un poêle à granulés, une chaudière à gaz ou à mazout avec installation solaire ainsi que pompe à chaleur à sonde géothermique en cas de rapport enveloppe extérieure thermique sur surface de référence énergétique (A_{th}/A_e) de 0,8 et 2,0.

Production de chaleur	Part de couverture	COP (η)	Pondération
Chauffage à granulés de bois	Chauffage: 100 % Eau chaude: 100 %	0,85 0,85	0,7 0,7
Chaudière à gaz ou à mazout	Chauffage: 100 % Eau chaude: 100 %	0,90 0,90	1 1
Chaudière à gaz ou à mazout	Chauffage: 60 % Eau chaude: 60 %	0,90 0,90	1 1
Installation solaire: 40 % des besoins de chaleur	Chauffage: 40 % Eau chaude: 40 %	– –	– –
Pompe à chaleur (sonde géothermique)	Chauffage: 100 % Eau chaude: 100 %	3,1 2,7	2 2

Tableau 5: Part de couverture utilisée, fractions utiles et pondérations pour les résultats de calcul représentés sur l'illustr. 16.

voit bien dans l'illustration 15 qu'en cas de dépassement de l'exigence primaire uniquement avec une construction extrêmement compacte et un grand volume, aucune part sensible d'énergies renouvelables n'est nécessaire. Si, au départ lors du développement d'un bâtiment Minergie-P, l'attention n'a pas pu être portée exclusivement sur l'exigence primaire et donc sur l'enveloppe du bâtiment (car lorsque l'exigence primaire est satisfaite, la valeur limite Minergie-P est normalement respectée), cela vaut la peine, avec l'exigence actuelle, de reprendre à zéro le développe-

Tableau 6: Fraction utile selon Minergie (janvier 2010).

Tableau 7: Facteur de pondération g selon Minergie (janvier 2010)

Système	Rendement η resp. COP de la production de chaleur	
	Chauffage	Eau chaude
Chauffage au mazout, avec ou sans combinaison thermique	0,85	0,85
Chauffage au mazout à condensation	0,91	0,88
Chauffage au gaz, avec ou sans combinaison thermique	0,85	0,85
Chauffage au gaz à condensation	0,95	0,92
Chauffage au bois, avec ou sans combinaison thermique	0,75	0,75
Chauffage à granulés	0,85	0,85
Chauffage électrique direct	1,00	–
Chauffe-eau électrique	–	0,90
COP des pompes à chaleur $T_{VL} \leq 45^\circ\text{C}$	2,30	2,30
Air extérieur monovalent	3,10	2,70
Sondes géothermiques	2,70	2,70
Nappe phréatique, indirect		
Installation solaire (chauffage + EC)	0	0
Photovoltaïque	–1	–1

Agent énergétique ou source énergétique	Facteur de pondération g
Soleil, chaleur de l'environnement, géothermie	0
Biomasse (bois, biogaz, gaz de STEP)	0,7
Rejets thermiques (y compris chauffage à distance de l'UIOM, de la STEP, industrie)	0,6
Agent énergétique fossile (pétrole, gaz)	1,0
Electricité	2,0

ment d'un concept global en tenant compte de toutes les exigences.

Conclusion: La valeur limite de Minergie-P peut être difficilement atteinte avec une production de chaleur purement fossile, l'utilisation d'énergies renouvelables est presque toujours obligatoire. La valeur limite Minergie-P n'est plus atteignable avec une pompe à chaleur air-eau avec de mauvais coefficients de performance annuels (air extérieur monovalent; selon Minergie à 2,3) (à moins que le bâtiment soit extrêmement compact et très bien isolé). La valeur limite Minergie-P peut généralement être atteinte avec des pompes à chaleur (terrain ou nappe phréatique) ou avec l'utilisation d'énergies renouvelables (bois combiné au soleil). D'autres exemples de l'influence de la production de chaleur sont abordés au chapitre 4.

Sources

- [1] Norme SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment», édition 2009; outils informatiques relatifs à 380/1 disponibles sur le marché.
- [2] Formulaire justificatif Minergie-P (www.minergie.ch → Documents & outils → Minergie-P)
- [3] Gregor Notter, Urs-Peter Menti et Marco Ragonesi: Catalogue des ponts thermiques pour les constructions Minergie-P, rapport final, Office fédéral de l'énergie OFEN (www.minergie.ch → Documents & Tools → Minergie-P)
- [4] Directive pour les mesures de perméabilité de l'air dans les constructions Minergie-P et Minergie (2007), Dübendorf: QC Experts (voir www.minergie.ch)
- [5] «Jetzt wohnen Sie in einem Minergie-Haus» (www.minergie.ch → Publikationen & Kiosk → Publikationen → Minergie)
- [6] Norme SIA 382/1 «Performances techniques requises pour les installations de ventilation et de climatisation», édition 2002, SIA
- [7] Ménard, M.: Sommerlicher Wärmeschutz bei Minergie-Gebäuden. Kriterien für die Auswahl kritischer Gebäude. Lemon Consult GmbH, Zürich 2007
- [8] Ménard, M.; Nutt, M.; Keller, P.: Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäu-

den in Holzbauweise. Messungen in acht Minergie-Einfamilienhäusern. Schlussbericht (Entwurf) zum BFE-Projekt 102675, Lemon Consult, Zürich 2008
[9] Norme SIA 380/4 «L'énergie électrique dans le bâtiment», édition 2006, SIA
[10] Cahier technique SIA 2024; Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment; édition 2006, SIA

Outils d'aide

Le tableau 8 présente les outils d'aide et les outils de calcul utiles pour une demande Minergie-P. Les liens vers les instruments correspondants sont également disponibles sur les sites Internet www.faktor.ch et www.minergie.ch.

Tableau 8: présente les outils d'aide et les outils de calcul utiles pour une demande Minergie-P. Les liens vers les instruments correspondants sont également disponibles sur les sites Internet www.faktor.ch et www.minergie.ch.

Nom	Description	Internet	Domaine
Programme de calcul pour justificatif selon norme SIA 380/1	Liste des outils de planification et des aides à la mise en œuvre actuellement certifiés	www.energie.zh.ch www.endk.ch	Information professionnelles, prescriptions → SIA 380/1 «L'énergie thermique dans le bâtiment»
Formulaire justificatif Minergie-P	Formulaire de calcul pour le justificatif Minergie-P	www.minergie.ch	Documents & outils → Minergie-P
Registre et liste de contrôle Contrôle de base Minergie-P	Liste de contrôle sous forme d'un lot de 12 classeurs (pour la remise de la demande)	www.minergie.ch	Documents & outils → Minergie-P
Justificatif aération/climatisation	Calcul du débit volumique effectivement efficace pour des grandes installations d'aération	www.minergie.ch	Documents & outils → Minergie-P
COP	Coefficient de performance annuel de pompes à chaleur	www.minergie.ch	Documents & outils → Minergie-P
Calcul des fenêtres	Calcul de la valeur U des fenêtres (cadre, vitre et intercalaire)	www.energie.tg.ch www.enerhaus.ch www.endk.ch	Télécharger
Valeur b	Liste des valeurs b pour les éléments de construction contre le terrain	www.energie.tg.ch	Télécharger
Valeurs lambda	Base de données Excel avec caractéristiques pour les matériaux de construction, selon SIA 381/1, SIA 381.101, SIA 279, SIA 2001	www.sia.ch/d/download.cfm	
Horizon	Détermination de l'horizon environnant	re.jrc.ec.europa.eu/pvgis	Europe → après saisie du site dans les options, sélectionner «Show graphs» et «Show horizon» et laisser calculer
SIA 382/1 Performances techniques	Outil de calcul climatisation, justificatif énergétique pour installations de climatisation/ventilation	www.energycodes.ch	Télécharger
SIA 380/4 Climatisation/ventilation	Outil de calcul climatisation, justificatif énergétique pour installations de climatisation/ventilation	www.energycodes.ch	Télécharger
SIA 380/4 Eclairage	Outil de calcul avec justificatif Minergie	www.energycodes.ch	Télécharger

Enveloppe du bâtiment

Marco Ragonesi

Considérations conceptuelles

Le passage d'une construction Minergie (qui en fait est déjà la méthode de construction habituelle) à une construction Minergie-P exige principalement une optimisation énergétique de l'enveloppe du bâtiment. Les principaux éléments influençables sont:

- Les déperditions de chaleur par transmission à travers les éléments de construction de l'enveloppe du bâtiment.
- Les déperditions de chaleur par transmission au niveau des raccords entre éléments de construction (ponts thermiques).
- Les apports énergétiques grâce au rayonnement solaire.

Tous les autres facteurs ne sont guère influençables ou d'une importance mineure. Pour pouvoir atteindre le standard Minergie-P, il convient de répondre clairement à des réflexions fondamentales dès la toute première phase du projet (avant-projet).

Surface de référence énergétique

Le point central du concept Minergie-P réside dans la limitation du périmètre d'isolation, en particulier la différenciation selon qu'il s'agit de locaux non isolés/non chauffés ou chauffés. Il convient alors de se demander: Qu'est-ce que la surface de référence énergétique (A_E)? Il s'agit de la somme de toutes les surfaces de plancher pour lesquelles un chauffage ou une climatisation sont nécessaires. Plus la surface des locaux chauffés pris en compte dans la surface de référence énergétique au sein d'un bâtiment est grande, plus il est probable que le standard Minergie-P pourra être atteint. Dans les étages principaux, ces limitations ne sont guère un problème, l'ensemble des pièces appartenant généralement à la surface de référence énergétique. La situation est différente au sous-sol:

- Lorsque la cage d'escalier ouverte n'ouvre sur aucun local en sous-sol appartenant à la surface de référence énergétique, il en résulte une grande surface

d'enveloppe de bâtiment avec des déperditions de chaleur par transmission correspondantes sans que la surface de référence énergétique ne soit sensiblement plus grande (Illustration 17).

- Les buanderies sont souvent utilisées comme de véritables pièces de travail (pièces de travail domestique) et doivent donc, en raison également de la protection du bâtiment contre l'humidité, être intégrées dans le périmètre d'isolation thermique et devraient également pouvoir être comprises dans la surface de référence énergétique.

- Les locaux de loisirs et de bricolage sont majoritairement chauffés et doivent donc être intégrés également dans la surface de référence énergétique puisqu'appartenant au périmètre d'isolation.

- Les caves ne font, à première vue, certainement pas partie de la surface de référence énergétique car elles ne doivent pas être chauffées pour en garantir l'usage prévu. Cependant, les caves sont, de plus en plus, soumises à des exigences plus élevées. Les caves sont souvent utilisées comme des locaux de stockage et d'archivage qui doivent être secs. Une bonne cave à vins doit également être maintenue à environ 18°C. Ces locaux pourraient donc également être considérés comme des «zones chauffées». Ils exigent au moins une protection thermique minimale du bâtiment; il est souvent judicieux de les intégrer dans le périmètre d'isolation Minergie-P effectif.

- La question sur la surface de référence énergétique se pose donc une nouvelle fois: les caves peuvent-elles être intégrées dans la surface de référence énergétique?

En principe, la norme SIA 416/1 définit les surfaces appartenant à la surface de référence énergétique; les caves et les buanderies par exemple sont explicitement exclus de la surface de référence énergétique; les locaux de séchage ne sont pas évoqués dans la norme SIA 416/1, les locaux de stockage et d'archivage font toutefois par-

■ Les locaux techniques (chauffage etc.) restent chauds même sans alimentation spéciale en énergie, lorsqu'ils se trouvent dans le périmètre d'isolation; ils ne peuvent cependant pas être intégrés dans la surface de référence énergétique. Il n'est toutefois guère sensé de les isoler de la zone chauffée par des éléments d'isolation thermique.

L'expérience en matière de planification et de certification de constructions Minergie-P montre clairement que ce sont souvent les questions de délimitation au sous-sol qui ont une influence sur la capacité d'un bâtiment à atteindre ou non le standard Minergie-P, et dans quelle mesure. Pour les deux concepts de sous-sol pour un immeuble collectif dont l'orientation n'est pas optimale, seul l'aménagement du sous-sol en locaux de bricolage a permis d'atteindre le standard Minergie-P (Illustrations 17 et 18).

Il résulte de la question «chauffé» ou «non chauffé» l'enveloppe thermique du bâtiment importante pour le justificatif Minerqie-P avec les exigences suivantes:

■ Le périmètre d'isolation thermique primaire englobe les éléments de construction qui délimitent le volume chauffé contre l'extérieur, contre les locaux non chauffés et contre terre. Avec leurs surfaces, leurs valeurs U et leurs facteurs b (facteur de réduction pour les déperditions de chaleur contre les locaux non chauffés et contre la terre), ils sont importants pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage selon la norme SIA 380/1. Par expérience, pour ces éléments de construction, $U \cdot b$ doit s'élever à environ $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ jusqu'à $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pour les éléments contre des locaux non chauffés, des valeurs U autour de $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ sont donc envisageables. Pour les éléments de construction contre terre, la valeur U requise, sans tenir compte de l'effet d'isolation thermique de la terre, dépend de contraintes géométriques telles que la profondeur de l'élément de construction dans le sol, la surface et l'étendue de la dalle contre terre et les déperditions de chaleur dans le sol sont prises en compte conformément à la norme SN EN 13370.

■ Lors de la définition du périmètre d'isolation thermique, il convient de veiller à ce

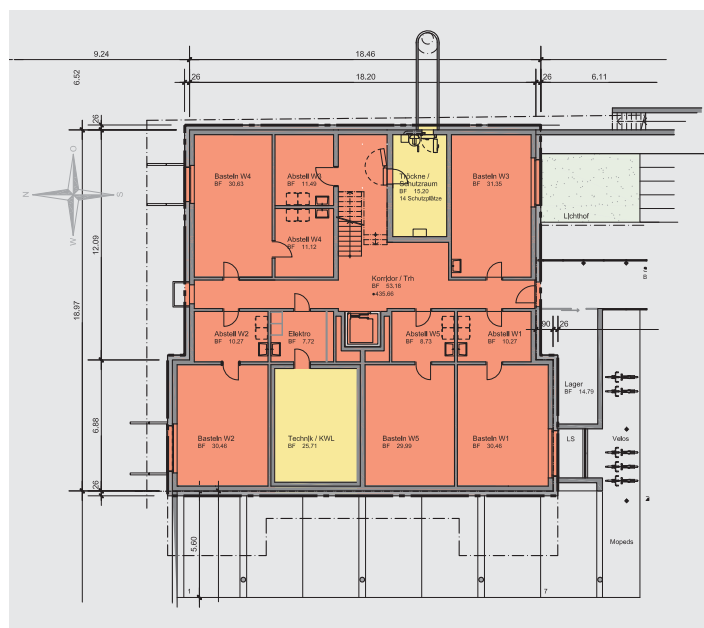
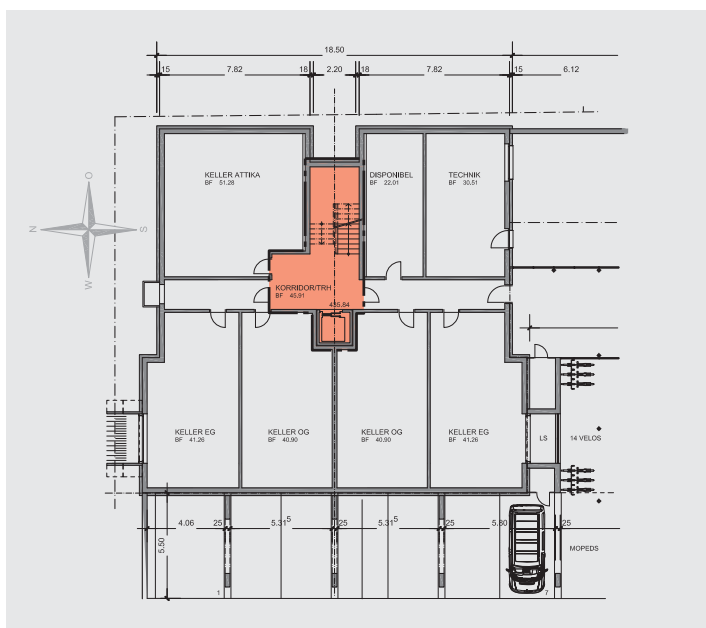
*Immeuble collectif
avec sous-sol non
aménagé (cave).*

☒ Surface de référence énergétique à l'intérieur du périmètre d'isolation (aménagement)

☐ Pas de surface de référence énergétique, à l'extérieur du périmètre d'isolation

*Immeuble collectif
avec sous-sol amé-
nagé (atelier de bri-
colage et débarras).*

-  A l'intérieur du périmètre d'isolation, compris dans la surface de référence énergétique
-  A l'intérieur du périmètre d'isolation, exclu de la surface de référence énergétique



que les surfaces de déperdition soient les plus petites possibles et à ce que les surfaces de référence énergétique soient les plus grandes possibles. Ceci est empêché en partie par des dispositions légales en matière de construction: la cage d'escalier ne peut pas être conçue en tant que zone chauffée; au lieu d'une surface de déperdition d'environ 7,1 m² par étage, on obtient une surface d'élément de construction 8 fois plus grande avec deux portes d'habitation qui entraînent des déperditions d'énergie plutôt élevées.

■ Suivant le type de local non chauffé, un périmètre d'isolation thermique secondaire doit être envisagé en tant que protection du bâtiment contre la chaleur et l'humidité (p. ex. pour les buanderies et locaux de séchage etc.), même si ces pièces ne se trouvent pas dans le périmètre d'isolation effectif et n'ont aucune importance pour le justificatif selon la norme SIA 380/1. Même dans les bâtiments existants qui doivent être améliorés par la suite sur le plan technique, thermique et énergétique afin de pouvoir atteindre le standard Minergie-P, des considérations conceptuelles sur l'aspect chauffé/non chauffé, sur la surface de référence énergétique (oui ou non) et le périmètre d'isolation thermique sont décisives.

■ L'aménagement non seulement du sous-sol permet d'agrandir la surface de référence énergétique mais aussi de réduire considérablement les ponts thermiques dans la zone du socle, car les murs extérieurs au sous-sol sont également isolés thermiquement. Cette solution est cependant remise en question par la composition de la dalle contre terre qui fait désormais partie de l'enveloppe thermique du bâtiment mais qui ne peut guère être améliorée sur le plan thermique.

■ L'aménagement des combles ou même la densification ultérieure par l'ajout d'étages supplémentaires, permet de rendre le bâtiment plus compact et les nouveaux volumes peuvent être isolés sans restriction à l'aide d'«éléments de construction pour constructions neuves».

Enveloppe de bâtiment et structure de construction

Dans les bâtiments qui doivent respecter les lois sur l'énergie en vigueur ou le standard Minergie, on peut admettre que la plupart des systèmes de construction permettent de satisfaire aux exigences relatives aux éléments de construction opaques présentant des valeurs U de 0,2 W/m²K. L'abaissement d'une valeur U de 0,2 à 0,1 W/m²K étant une étape majeure et exigeant une couche d'isolation thermique deux fois plus épaisse, des questions structurelles se posent, notamment pour les murs extérieurs:

■ Matériaux d'isolation thermique disponibles: jusqu'à quelle épaisseur ces matériaux sont-ils disponibles en une couche, conductibilité thermique déclarée λ_D .

■ Fixation de la couche d'isolation thermique et des éventuelles sous-constructions de façade ainsi que leurs déperditions par ponts thermiques.

■ Dimensions des vis, ancrages, ancrages articulés de maçonnerie etc.

Ces questions doivent être abordées dès la toute première phase du projet car il se peut que certains systèmes de murs extérieurs ne soient pas disponibles pour les constructions Minergie-P, comme p. ex. les murs à double paroi et revêtements de façade ventilés avec sous-constructions traditionnelles.

Le choix du concept de construction a également une influence décisive sur les ponts thermiques au niveau des raccord entre éléments de construction. En particulier, le changement de plan de l'isolation thermique en cas d'éléments de construction porteurs peut entraîner d'énormes déperditions par ponts thermiques et des dépenses de construction substantielles.

Quelques explications grâce aux exemples suivants:

Raccord entre le radier et le mur extérieur: une couche d'isolation thermique sous le radier peut être jointe à l'isolation périphérique du mur extérieur, de manière continue et sans former de ponts thermiques. Les éléments de construction en

U: coefficient de transmission thermique

b: facteur de réduction pour le calcul des déperditions de chaleur contre les locaux non chauffés et contre terre (norme SIA 380/1).

béton armé qui traversent les couches d'isolation thermique disposées sur le radier entraînent généralement de fortes déperditions par ponts thermiques. Au niveau du socle, trois éléments de construction différents se rencontrent souvent :

- le mur extérieur au-dessus du terrain
- le mur extérieur du sous-sol, contre terre et contre l'extérieur, suivant la configuration du terrain
- le plancher entre le rez-de-chaussée et le sous-sol.

Selon que le rez-de-chaussée et le sous-sol ou seulement le rez-de-chaussée sont chauffés et suivant les systèmes de construction pour les trois éléments de construction à assembler au niveau du socle, il existe trois solutions engendrant des déperditions par ponts thermiques très différentes. Au niveau du montage des fenêtres, la structure de la fenêtre (matériaux du cadre) a des répercussions tout comme la position de la fenêtre par rapport aux couches du mur extérieur :

- Dans l'idéal, la fenêtre se trouve au niveau de l'isolation thermique, les déperditions par ponts thermiques pour le montage de la fenêtre sont ainsi les plus faibles.
- Si la fenêtre est au même niveau que la face intérieure ou extérieure, les déperditions par ponts thermiques ou les déperditions de chaleur totales sont généralement supérieures.
- La position de la fenêtre a également des répercussions sur l'apport énergétique grâce au rayonnement solaire : plus l'embrasure est profonde, plus les ombres projetées dues à l'«écran latéral» et à la «saillie» sont importants.

Amélioration technique et thermique des bâtiments existants

En ce qui concerne les mesures techniques et thermiques appliquées aux bâtiments existants, les constructions existantes influencent considérablement les possibilités de transformer une enveloppe de bâtiment souvent pas ou peu isolée en une enveloppe extrêmement bien isolée, qui peut finalement être conforme au standard Minergie-P. Les expériences de maçonneries de boutisses et panneresses (va-

leur U de 1,0 W/m² K) et de murs extérieurs isolés thermiquement à l'intérieur (p.ex. fine couche d'isolant thermique et mur de parement, valeurs U de 0,7 W/m² K) montrent clairement que l'objectif (valeur U de 0,1 W/m² K) ne peut généralement être atteint qu'avec une couche supplémentaire d'isolation sur la face extérieure. Les isolations thermiques intérieures engendrent, en cas d'appuis de dalle etc., des déperditions par ponts thermiques si élevées que la protection thermique effective reste insuffisante même avec de bonnes valeurs U des éléments de construction individuels. Du point de vue du concept, un bâtiment existant «revêt» ainsi une nouvelle enveloppe de bâtiment extrêmement bien isolée, fenêtres comprises.

Étanchéité à l'air

Les constructions Minergie-P sont également soumises à des exigences très élevées en matière d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment.

- Dans une construction massive avec murs en maçonnerie crépis et éléments de construction en béton armé, on peut déjà atteindre l'étanchéité à l'air exigée en raccordant de manière étanche les fenêtres et les portes (qui sont elles-mêmes étanches à l'air!) et en garantissant l'étanchéité au niveau des percements pour les installations techniques.

- De plus gros efforts sont nécessaires lorsque les éléments de construction ne sont pas eux-mêmes étanches, comme c'est le cas p.ex. avec les systèmes de construction en bois. Les considérations conceptuelles doivent donc conduire à ce que la couche étanche à l'air puisse être posée de manière continue sans interruption. Ainsi, il s'agit soit de revêtements côté chaud (panneaux plâtre, cartonnés panneaux OSB etc.), qui sont étanches à l'air et forment une couche étanche à l'air grâce au collage de joints de plaques, soit de pare-vapeurs et de couches d'étanchéité à l'air séparées qui sont raccordées de manière étanche à l'air aux éléments de construction voisins et traversants. Les rénovations de bâtiments dans le cadre du standard Minergie-P doivent, elles aussi,

Illustr. 19 et Illustr. 20: Les fenêtres orientées au sud sont considérablement ombragées par les balcons. Pendant la période de chauffage, les baies vitrées à l'arrière des balcons engendrent des déperditions énergétiques de 33 kWh/m². Sans ces balcons créant de l'ombre, les apports d'énergie seraient de 19 kWh/m². La différence de 52 kWh/m² de surface de référence énergétique correspond à la valeur thermique de 5 litres de mazout environ.

respecter des exigences relativement élevées, ce qui peut s'avérer difficile dans certains cas.

Ombres projetées des balcons et avant-toits

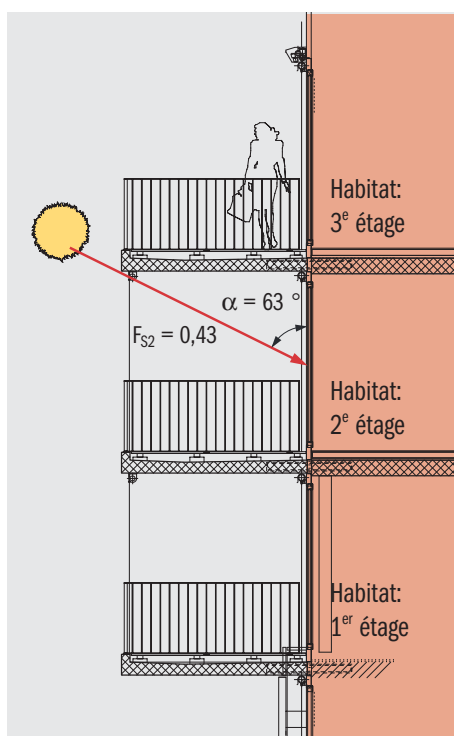
Les constructions Minergie-P ne sont guère réalisables sans apports solaires passifs. Même dans le lotissement de Werdwies qui ne présente pas les conditions optimales à cet égard, avec un ombrage dû à l'horizon (bâtiments voisins, emplacement en ville) et éléments saillants (balcons), environ 50% des déperditions énergétiques totales (transmission et renouvellement d'air) sont couverts par des apports de chaleur solaires utiles. Lorsque le rayonnement solaire est considérablement réduit par l'horizon, éléments saillants (balcons, avant-toits) et les écrans latéraux (décalage de bâtiments, loggias), cela ne peut guère être compensé par la réduction des déperditions (transmission) ou seulement en engageant des dépenses très élevées. Les bâtiments Minergie-P deviennent alors considérablement plus chers, c'est pourquoi il convient de se pencher sur les points suivants dès l'avant-projet:

- Orienter le bâtiment vers le sud, avec des écarts admissibles vers le sud-ouest ou le sud-est.

- Orienter les grandes surfaces vitrées vers le sud et les petites surfaces vitrées vers le nord. Evaluer les fenêtres avec une petite part de cadre et un taux de surface vitrée élevé et des vitrages avec un coefficient global de transmission d'énergie le plus élevé possible (valeur g de 50 %).

- Ne placer si possible aucun élément d'ombrage fixe en cas de surfaces vitrées orientées au sud, disposer des balcons devant des éléments de construction opaques (Illustrations 19 et 20).

A la place d'un balcon créant de l'ombrage ou d'une loggia dotée de fenêtres considérablement ombragées et d'une grande surface d'enveloppe de bâtiment, il peut être intéressant d'intégrer la loggia dans l'enveloppe thermique du bâtiment.



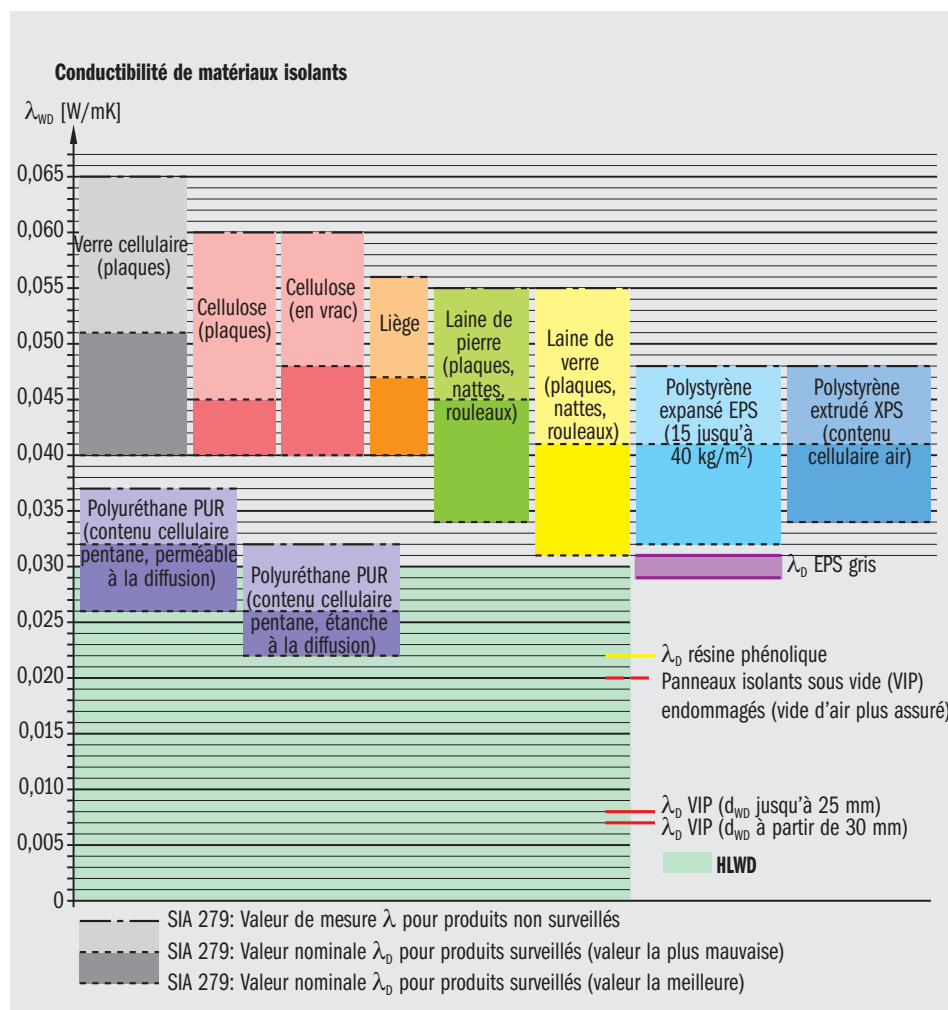
Éléments de construction opaques

Les éléments de construction opaques, tels que les murs extérieurs et les toitures, des bâtiments Minergie-P doivent proposer une très bonne protection thermique, avec des valeurs U de l'ordre de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Les toitures et les radiers doivent être isolés thermiquement sans compromis (valeur $U \leq 0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), car ils délimitent des espaces qui sont de toute façon moins privilégiés. Ils perdent de l'énergie à travers les murs extérieurs et les fenêtres mais également à travers le toit et le radier. Dans les constructions à plusieurs étages, il est judicieux d'optimiser la protection thermique des murs de façade de façon à ce que les exigences Minergie-P puissent être respectées; suivant le nombre d'étages et la compacité du bâtiment, des valeurs U de $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ à $0,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ sont envisageables.

Evaluation correcte des flux de chaleur

Une haute résistance à la transmission thermique pour les éléments de construction Minergie-P pouvant aller jusqu'à $10 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ doit être assurée, principalement, par la couche d'isolation thermique. Les autres couches d'éléments de construction, telles que des matériaux porteurs et de revêtement ainsi que les résistances thermiques superficielles, n'ont, à l'exception des sections en bois massif (p. ex. panneaux multipli etc.), qu'une influence négligeable. Pour la couche d'isolation thermique, il est préférable d'utiliser des produits contrôlés pour pouvoir atteindre une conductibilité thermique déclarée (valeur λ_D) selon la norme SIA 279 et le cahier technique SIA 2001 (Illustration 21). Pour les produits non contrôlés, les conductibilités thermiques à appliquer donnent lieu à des épaisseurs de couches

Illustr. 21: En ce qui concerne les matériaux d'isolation thermique, il faut prendre en compte les valeurs caractéristiques de la norme SIA 279 et du cahier technique SIA 2001; pour Minergie-P, il est préférable d'utiliser des produits contrôlés. Les matériaux d'isolation thermique à hautes performances (HLWD) conviennent particulièrement bien aux éléments de construction Minergie-P.



extrêmement importantes. Outre la couche d'isolation thermique et sa conductibilité thermique, des influences constructives (p. ex. sections transversales du bois, éléments de fixation etc.) et l'orientation de l'élément de construction (p. ex. contre terre) agissent également sur la propriété isolante des éléments de construction opaques.

Les flux de chaleur dans la construction en bois

La plupart des constructions en bois sont conçues en tant que systèmes non homogènes avec des couches d'isolation thermique entre la structure porteuse en bois. La section transversale en bois interrompant la couche d'isolation thermique forme ainsi un pont thermique (manque d'homogénéité), qu'il s'agit de prendre en compte lors de l'évaluation des flux de chaleur. La détermination correcte des valeurs U impose des exigences plus élevées dans les constructions en bois non homogènes que dans les constructions homogènes, et ce notamment lorsqu'un élément de construction est monté de manière non homogène en plusieurs couches, p. ex. en cas de lattes croisées et de matériaux d'isolation thermique disposés entre ossatures. Il existe trois méthodes de calcul permettant de déterminer la valeur U de ces éléments de constructions. Elles sont détaillées ci-dessous:

■ Méthode approximative avec valeurs limites supérieure et inférieure selon SIA 180 et SN EN ISO 6946.

■ Calcul de la valeur U à l'aide du calcul des ponts thermiques.

■ Méthode de calcul qui repose sur une conductibilité thermique obtenue pour la ou les couches non homogènes de bois/matériau d'isolation thermique.

Déperditions par ponts thermiques au niveau des fixations

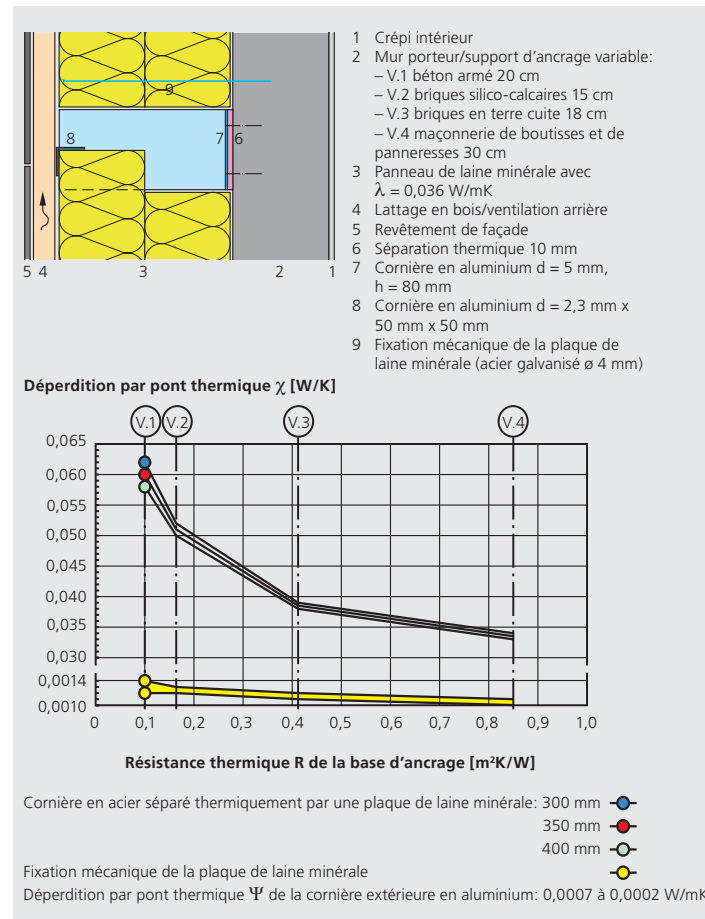
Les ponts thermiques locaux sous forme d'éléments de fixation qui traversent la couche d'isolation thermique (p. ex. ancrages et rails des revêtements de façade ventilés), entraînent des déperditions par ponts thermiques ponctuels (valeur χ en

W/K) ou linéiques (valeur Ψ en W/mK) qui doivent être pris en compte lors du calcul des valeurs U des éléments de construction. Ces influences peuvent être si importantes qu'il est impossible d'atteindre des valeurs U de l'ordre de 0,1 W/m² K (Illustration 22). Notamment pour les murs extérieurs avec revêtement ventilé, il convient d'évaluer des systèmes de fixation qui permettent de construire avec une très bonne isolation thermique. Pour quatre systèmes de fixation ou sous-constructions de façade, nous avons calculé les déperditions par ponts

Illustr. 22: Déperditions par ponts pour une sous-construction métallique fixée à la maçonnerie de manière thermiquement isolée (env. 1,5 console par m² de mur extérieur). Plus la résistance thermique du sup-

port d'ancrage est faible, plus la déperdition par pont thermique est élevée, alors que l'épaisseur de la couche d'isolation thermique n'a qu'une influence minime. Pour le calcul des valeurs U, les déperditions par

ponts thermiques via la fixation mécanique de la couche d'isolation (env. 4 points de fixation par m² de mur extérieur) peuvent être déterminantes si celle-ci n'est pas collée. La cornière métallique extérieure (8, env. 0,75 m de cornière par m² de mur extérieur) n'exerce cependant aucune influence sur la valeur U du mur extérieur. La sous-construction étudiée entraîne des déperditions par ponts thermiques tellement élevées qu'il n'existe plus de solution pour Minergie-P.



thermiques ponctuels et linéiques, servant de base pour la détermination correcte des valeurs U des éléments de construction avec ces éléments de fixation:

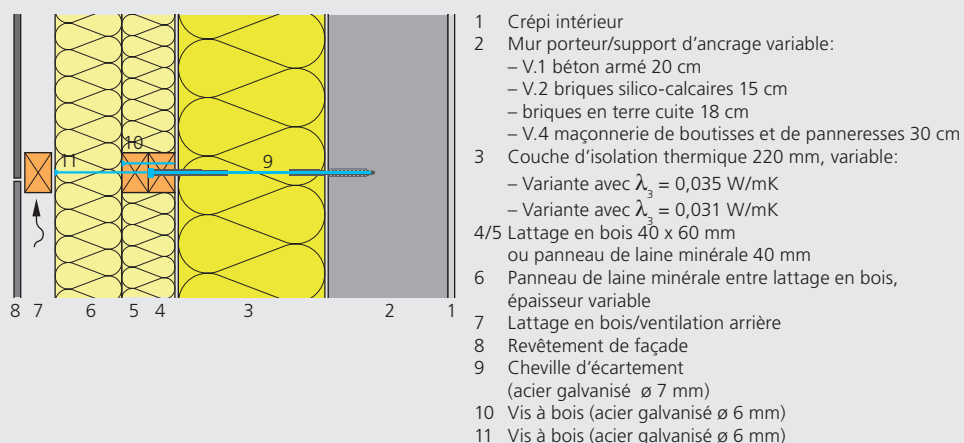
■ Sous-construction métallique, fixée au mur porteur de manière thermiquement isolée (Illustration 22). Même avec des murs porteurs présentant une grande résistance thermique (p.ex. maçonnerie de boutisses et panneresses ou mur en bois massif), les déperditions par ponts thermiques de la sous-construction sont tellement élevées qu'il est impossible de construire des enveloppes conformes à Minergie-P avec ce système. Il faudrait appliquer des couches d'isolation thermique de 0,6 m à 1,0 m pour pouvoir atteindre des valeurs U de 0,1 W/m²K.

■ Sous-construction avec chevilles d'écartement traversant une couche d'isolation thermique, fixée au mur porteur.

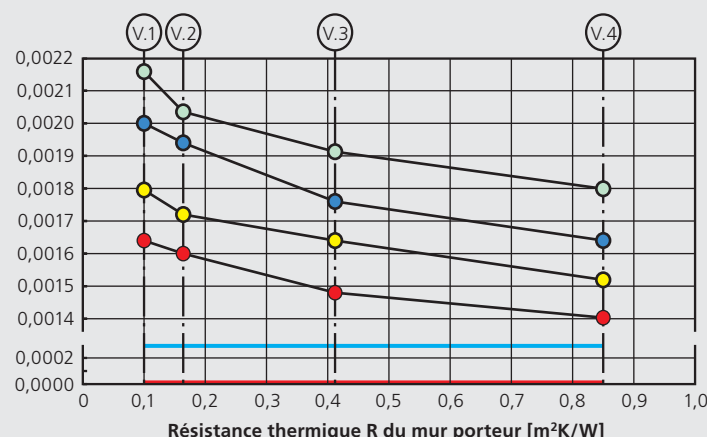
■ Sous-construction avec cheville d'écartement traversant une couche d'isolation thermique, fixée au mur porteur avec deux couches d'isolation thermique disposées entre lattage et contre lattage (Illustration 23).

■ Sous-construction avec console avec séparation thermique en matière synthétique renforcée de fibres de verre, qui traverse la couche d'isolation thermique, et relie les éléments de fixation en aluminium disposés côté chaud et froid (Illustration 24).

Illustr. 23: Déperditions par ponts thermiques en cas de sous-construction avec cheville d'écartement, isolée par des lattages en bois et une couche d'isolation thermique variable. Plus la résistance thermique du mur porteur est faible, plus les déperditions par ponts thermiques sont élevées et meilleure est l'isolation de la cheville d'écartement, plus l'influence des ponts thermiques est faible. Le nombre de chevilles dépend du poids du revêtement de façade; on compte généralement 3 pièces par m² de mur extérieur. Les vis à bois engendrent de très faibles déperditions par ponts thermiques de l'ordre de 0,00004 W/K (vis 10) et de 0,0003 W/K (vis 11); elles ne jouent aucun rôle dans le calcul des valeurs U (influence nettement inférieure à 1 %).

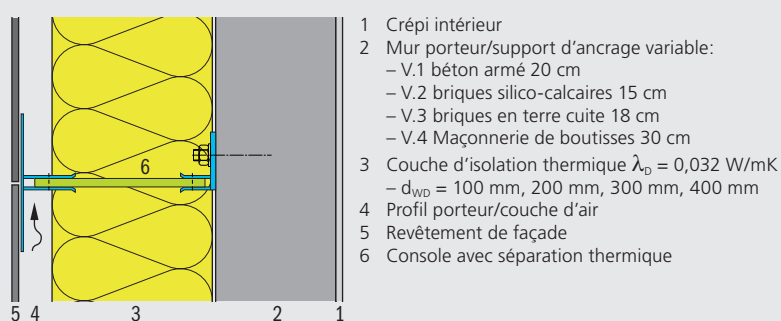
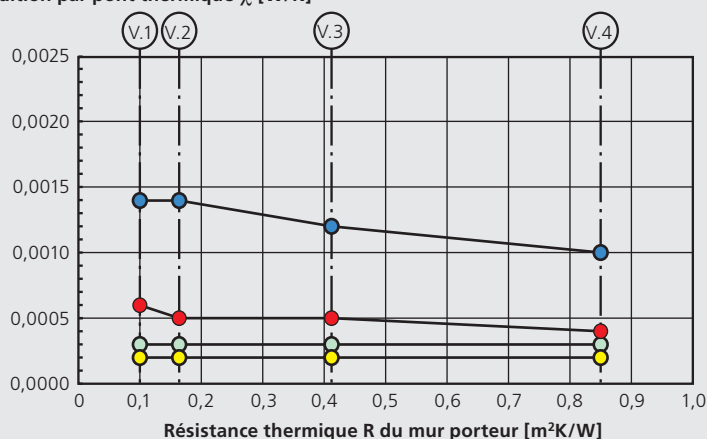


Déperdition par pont thermique χ [W/K]



Cheville d'écartement pour $\lambda_3 = 0,035$ W/mK: $d_{\text{var.(6)}} = 80$ mm (bleu)
 $d_{\text{var.(6)}} = 120$ mm (rouge)
 Cheville d'écartement pour $\lambda_3 = 0,031$ W/mK: $d_{\text{var.(6)}} = 80$ mm (vert)
 $d_{\text{var.(6)}} = 120$ mm (jaune)

Déperdition par pont thermique vis à bois 10 (couches 4 et 5) (rouge)
 Déperdition par pont thermique vis à bois 11 (couches 5 et 6) (bleu)

Déperdition par pont thermique χ [W/K]Console avec séparation thermique pour $\lambda_D = 0,032 \text{ W/mK}$:

- $d_{WD} = 100 \text{ mm}$ ●
- $d_{WD} = 200 \text{ mm}$ ●
- $d_{WD} = 300 \text{ mm}$ ●
- $d_{WD} = 400 \text{ mm}$ ●

Illustr. 24: Déperditions par ponts thermiques en cas de sous-construction avec console d'isolation thermique WDK. La console d'isolation thermique se compose d'une lame en matière synthétique renforcée par fibres de verre qui traverse la couche d'isolation thermique. Les profils de fixation très conducteurs de chaleur en aluminium sont disposés côté chaud et froid et traversent au minimum la couche d'isolation thermique. Le comportement structural de ce nouveau type de sous-construction (System Phoenix de Wagner Systeme AG, demande de brevet en cours) est comparable aux sous-constructions en aluminium traditionnelles. Il en résulte de très faibles déperditions par ponts thermiques, presque indépendamment de la résistance thermique du mur porteur. Le nombre de consoles dépend du poids du revêtement de façade; on compte généralement 1,7 pièce par m² de mur extérieur. Dans la plage intéressante pour Minergie-P, avec des épaisseurs d'isolation thermique supérieures à 20 cm, on obtient une fixation quasiment dépourvue de ponts thermiques.

Flux de chaleur dans les éléments contre terre

Lorsque des éléments de construction se situent dans un sol sans présence d'eau souterraine, les déperditions de chaleur par transmission sont réduites par l'action isolante de la terre (Illustration 25).

L'influence isolante de la terre est prise en compte selon la norme EN ISO 13370. Voici les tendances constatées :

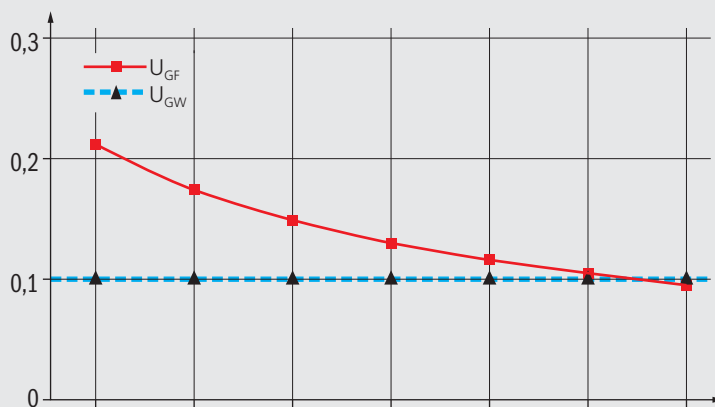
■ Plus le bâtiment est enterré (hauteur z),

meilleures sont les valeurs U du mur et du radier avec une composition identique des constantes.

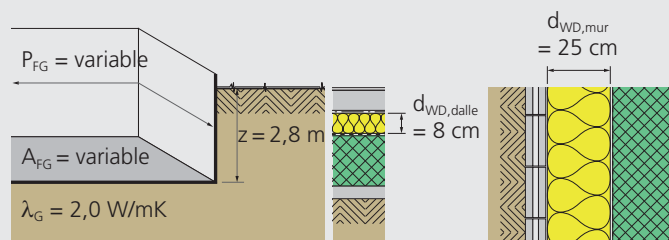
■ Plus la surface au sol est importante, meilleure est la valeur U du radier avec une composition identique des constantes. Lorsque les surfaces au sol sont très importantes, il est envisageable de renoncer à une couche d'isolation thermique ou d'isoler uniquement les parties périphériques du radier.

Illustr. 25: Pour les éléments de construction dans le terrain, la composition des couches n'est pas seule déterminante. Les conditions annexes géométriques influencent également les déperditions thermiques. Dans le cas d'importantes surfaces au sol, il est éventuellement possible de renoncer à une couche d'isolation thermique. Lors du calcul des déperditions thermiques par transmission selon la norme SIA 380/1, la valeur U est calculée sans l'influence du terrain, ce qui est respecté avec les facteurs de réduction b_{GW} ou b_{GF}

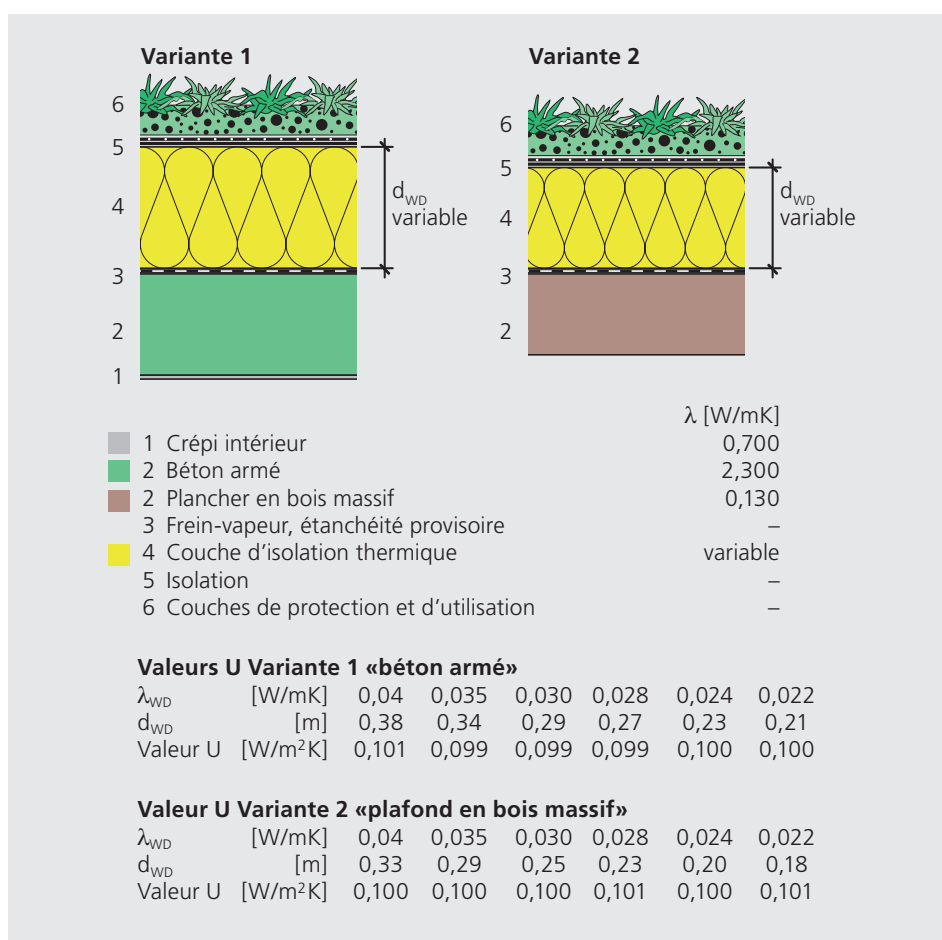
Valeur U U_{GW} resp. U_{GF} [W/m^2K]
(EN ISO 13370, prise en compte du terrain)



A_{FG} [m^2]	100	400	900	1600	2500	3600	4900
P_{FG} [m]	40	80	120	160	200	240	280
U_{GW0} [W/m^2K]	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128
b_{GW} [-]	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
U_{GF0} [W/m^2K]	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386
b_{GF} [-]	0,55	0,45	0,39	0,34	0,30	0,27	0,25



A_{FG}	Surface de l'enveloppe thermique du bâtiment reposant sur la terre
P_{FG}	Volume d' A_{FG} à l'angle extérieur d'un bâtiment ou contre des locaux non chauffés
U_{GW0}	Valeur U mur contre terre sans influence de la terre
b_{GW}	Facteur de réduction près du mur contre terre
U_{GF0}	Valeur U de la dalle contre terre sans influence de la terre
b_{GF}	Facteur de réduction pour la dalle contre terre
U_{GW}	Valeur U du mur contre terre avec influence de la terre
U_{GF}	Valeur U de la dalle contre terre avec influence de la terre



Illustr. 26: Système de toiture chaude pour toit plat, avec différentes couches d'isolation thermique, sur des sous-constructions en béton armé 0,25 m (variante 1) ou bois massif 0,2 m (variante 2).

Toit plat

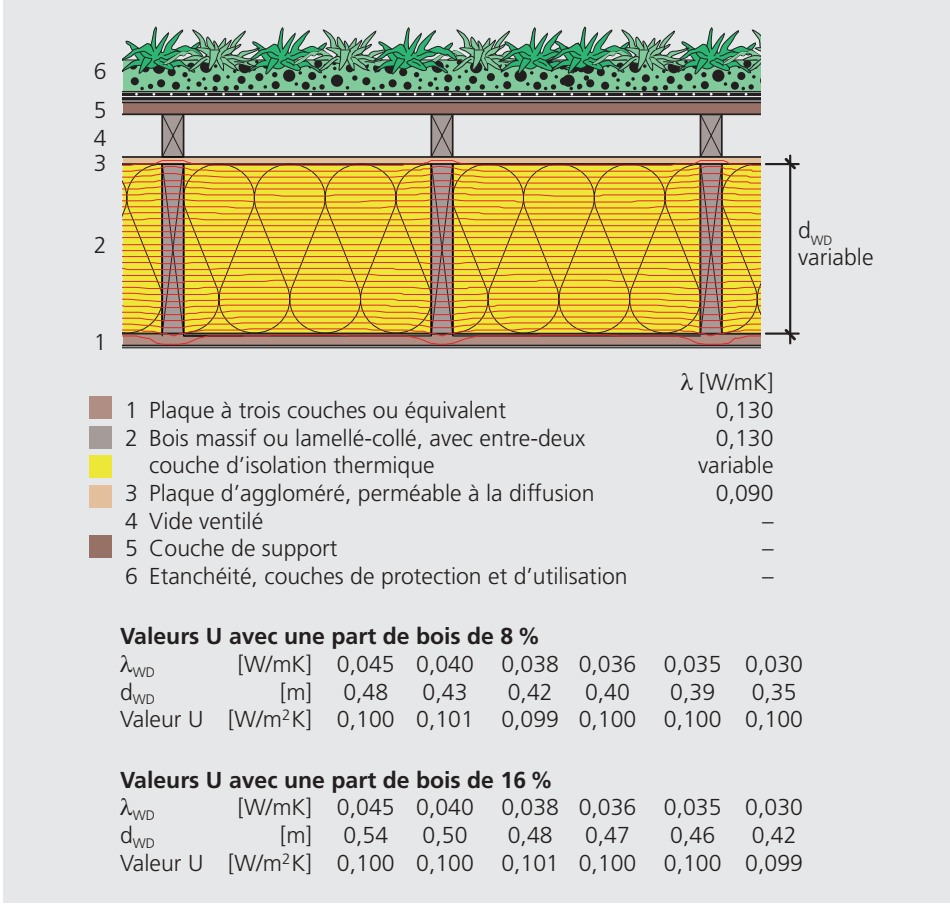
Les toits plats sont des toits avec peu ou pas de pente comportant une étanchéité sans joints. Il existe plusieurs systèmes permettant de constituer des toits plats:

■ La toiture chaude (Illustration 26) est le système de construction le plus répandu. La toiture compacte se base également sur le système de la toiture chaude. La toiture chaude est une toiture dans laquelle l'étanchéité est appliquée directement sur la couche d'isolation thermique, sans ventilation. Ce système de construction est idéal pour les toits plats présentant une grande isolation thermique car l'isolation thermique peut être appliquée en une ou plusieurs couches sans défauts d'homogénéité. La toiture chaude peut être appliquée sur tous les supports. Elle peut être constituée de graviers, être végétalisée (végétalisation intensive ou extensive), être praticable ou carrossable. Elle peut aussi être exécutée sans couches de protection et sans revêtement praticable (toiture nue).

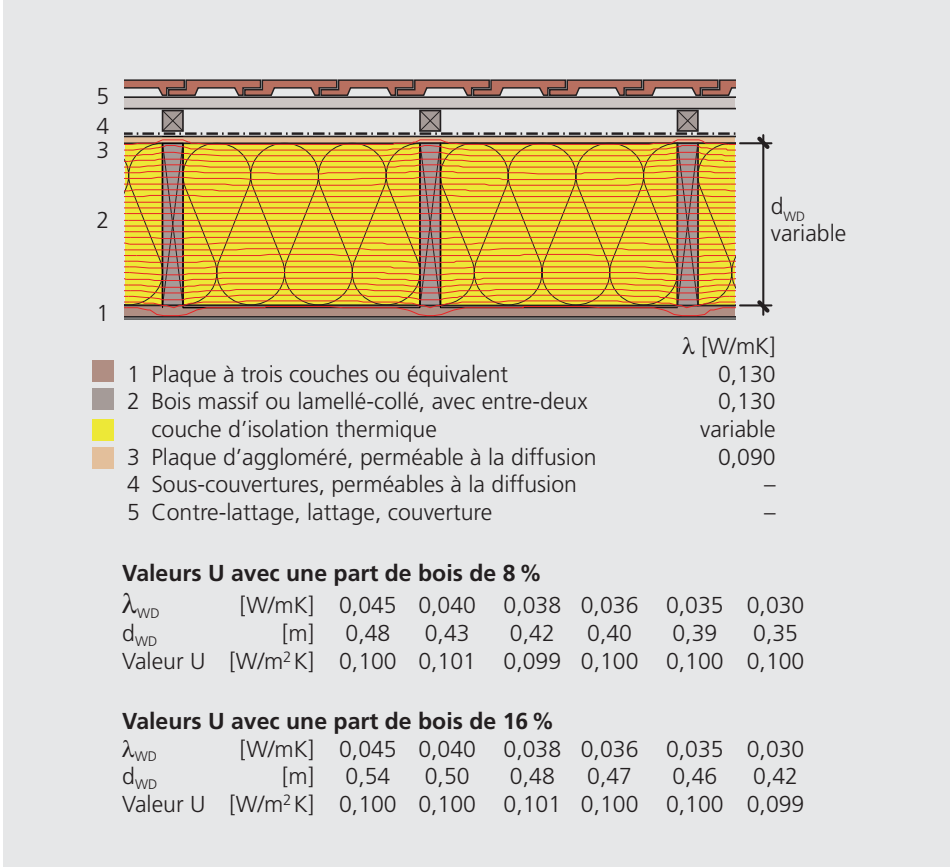
■ La toiture ventilée (Illustration 27) est destinée aux toits plats avec plancher en bois. L'étanchéité à la vapeur est ventilée ce qui évite les problèmes de diffusion de la vapeur dans le toit. L'isolation thermique est posée entre les poutres en bois, la proportion de bois agissant, dans ce cas, de manière déterminante sur l'efficacité du système.

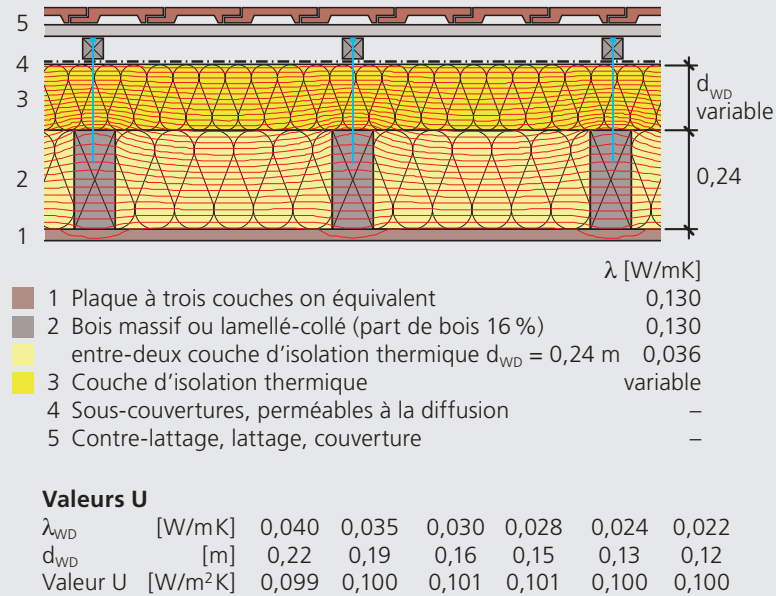
■ Dans les toitures inversées, l'isolation thermique constituée d'une couche insensible à l'humidité composée de plaques en mousse rigide de polystyrène extrudé XPS est placée au-dessus de l'étanchéité. La toiture inversée n'est pas adaptée aux toits plats à haute isolation thermique. Cependant, le système de toiture inversée est également envisageable dans les constructions Minergie-P sous la forme d'une toiture Duo (couche d'isolation thermique en dessous et au-dessus de l'étanchéité) ou d'une toiture améliorée (amélioration de l'isolation thermique de toitures chaudes existantes).

Illustr. 27: Toit plat avec différentes couches d'isolation thermique placées entre la structure porteuse, avec isolation de toit plat ventilée avec différentes parts de bois.



Illustr. 28: Toit en pente dans le système «isolation sur toute la hauteur des chevrons», avec différentes couches d'isolation placées entre une ossature en bois, avec différentes parts de bois.





Illustr. 29: Toit en pente avec couche d'isolation thermique placée entre chevrons ($d_{WD} = 0,24$ m, $\lambda_D = 0,036$ W/mK, part de bois = 16 %) et avec couche d'isolation thermique variable sur les chevrons (pose homogène, sans éléments en bois ou autres, chevilles d'écartement traversantes avec prise en compte 3 fois 0,003 W/K).

Toit en pente

Le toit en pente est un toit présentant une pente qui reçoit une couverture disposée en écailles. Les toits en pente peuvent également présenter une étanchéité sans joints et être engazonnés comme cela se fait pour les toits plats. Les systèmes ayant fait leurs preuves pour les toits en pente à haute isolation thermique sont les suivants:

- Isolation sur toute la hauteur des chevrons (Illustration 28): l'isolation thermique est placée entre la structure porteuse en bois (p. ex. les chevrons) et la proportion de bois agit ainsi sur l'efficacité.
- Combinaison de l'«isolation sur toute la hauteur des chevrons» ou «toiture chaude» avec isolation thermique entre et au-dessus de la structure porteuse en bois (Illustration 29).
- Structure de toit chaud avec isolation thermique au-dessus de la structure porteuse en bois, dans laquelle l'isolation thermique est posée pour partie de manière «continue» et pour partie entre le lattage (non homogène).

Plafonds

On entend par «plafonds» les éléments de construction au-dessus des locaux chauffés, destinés à limiter le flux de chaleur du bas vers le haut. Les plafonds servent, entre autres, à la délimitation thermique avec les pièces plus froides telles que les combles etc.

- Dans les constructions massives, l'isolation thermique est, en règle générale, posée au-dessus de la dalle en béton et est réalisée avec ou sans couche praticable suivant l'usage du local non chauffé (couches d'isolation thermique et valeurs U logiquement identiques à celles du toit plat sur l'illustration 26).
- Dans les constructions en bois, l'isolation thermique est posée soit au-dessus d'un plancher en bois massif soit entre la structure porteuse en bois (couches d'isolation thermique et valeurs U logiquement identiques à celles du toit plat sur l'illustration 26 ou 27).

Planchers contre l'extérieur et contre locaux non chauffés

Les planchers limitent le flux de chaleur du haut vers le bas, ils délimitent les locaux chauffés par rapport aux locaux non chauffés se trouvant en dessous et par rapport au climat extérieur. Dans les constructions massives, l'isolation thermique est disposée au-dessus et, respectivement ou, au-dessus de la dalle en béton. La disposition des couches d'isolation thermique peut ainsi influencer sensiblement les déperditions par ponts thermiques au niveau du socle et au niveau des parois intérieures en contact avec la dalle.

■ Lorsque la couche d'isolation thermique, et contre le bruit de choc est disposée uniquement au-dessus de la dalle en béton (Illustration 30), les murs intérieurs et extérieurs traversent ces couches d'isolation ce qui peut conduire à d'importantes déperditions par ponts thermiques si des mesures spéciales d'isolation thermique (appuis isolants) ne sont pas prises.

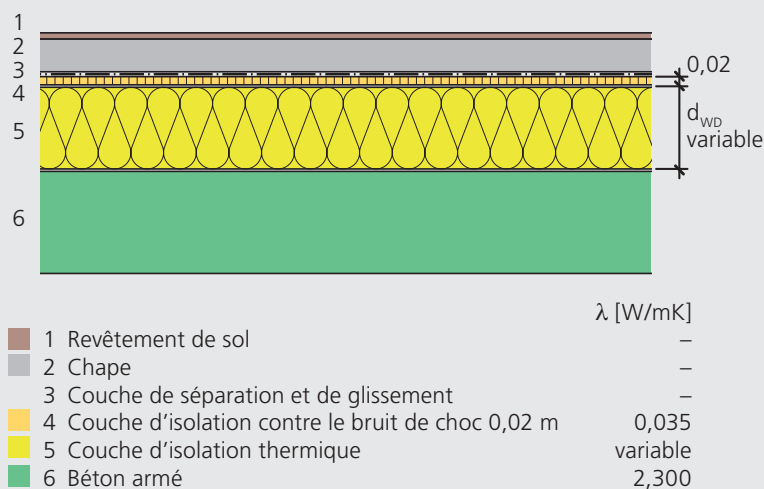
■ Il est improbable que la couche d'isolation thermique soit placée uniquement en dessous car une couche d'isolation thermique et du bruit de choc minimale est généralement nécessaire.

■ Une répartition de l'isolation thermique en une partie au-dessus et l'autre partie en dessous (Illustration 31) est le plus judicieux notamment si cela peut réduire l'action des ponts thermiques au niveau des murs intérieurs et extérieurs. Souvent, le rythme des axes des murs intérieurs au rez-de-chaussée est plus serré que dans un garage souterrain se trouvant en dessous par exemple, où on exige plutôt des piliers. Dans de tels cas, un mur intérieur du rez-de-chaussée p.ex. traverse uniquement la couche d'isolation thermique, tandis que l'isolation thermique sous la dalle en béton réduit les déperditions de chaleur au-dessus du mur. Dans les constructions en bois, le plancher contre sous-sol non chauffé est en partie réalisé comme dans les constructions massives, dans lesquelles les ponts thermiques sont généralement réduits au minimum lorsque toute l'isolation thermique est disposée au-dessus de la dalle en béton armé (raccord aux murs extérieurs et intérieurs

dans la construction en bois). Les systèmes utilisés pour les planchers sur vide sanitaire dans les constructions en bois sont les suivants:

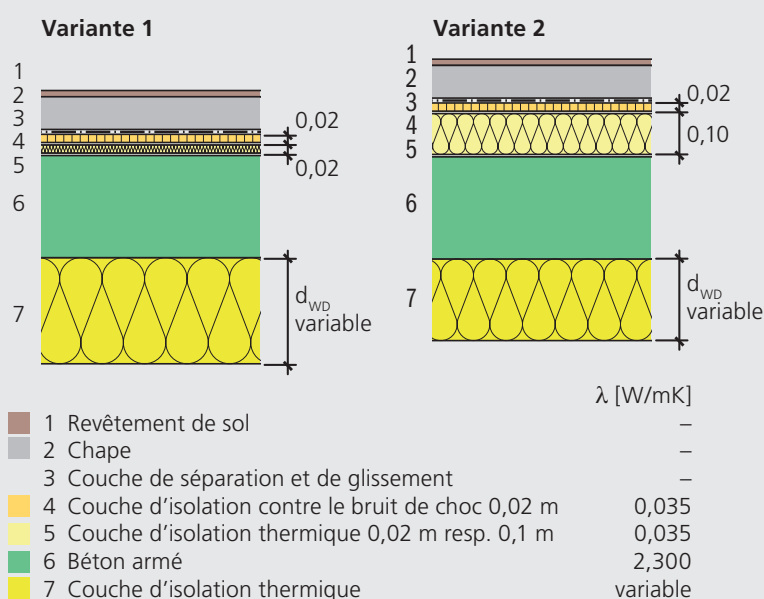
■ Plancher en bois avec isolation thermique disposée entre les solives et composition des autres couches (Illustration 32). Il est efficace de choisir une couche d'isolation entre les solives uniquement de l'épaisseur prescrite par la hauteur statique requise. Le solde de la couche d'isolation thermique et contre le bruit de choc est disposé au-dessus de la structure porteuse avec les autres couches car ces couches peuvent alors présenter des conductibilités thermiques nettement meilleures.

■ Plancher en bois massif (Illustration 33), avec couches d'isolation thermique au-dessus et, respectivement ou, au-dessus et en dessous de celui-ci. A la différence des constructions massives, avec dalle en béton le problème des ponts thermiques est moins important ici. Seuls les murs se trouvant dans le local non chauffé (p.ex. en béton armé ou en briques silico-calcaires), qui traversent une couche d'isolation thermique placée sous le plafond, entraînent des déperditions par ponts thermiques importantes.

**Valeurs U**

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,37	0,32	0,28	0,26	0,22	0,20
Valeur U	[W/m²K]	0,100	0,101	0,099	0,100	0,101	0,103

Illustr. 30: Construction au sol sur plafond en béton armé, avec 0,02 m de couche d'isolation contre le bruit de choc et couche d'isolation thermique variable. Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage de surface (sans transmission de chaleur interne).

**Valeurs U Variante 1**

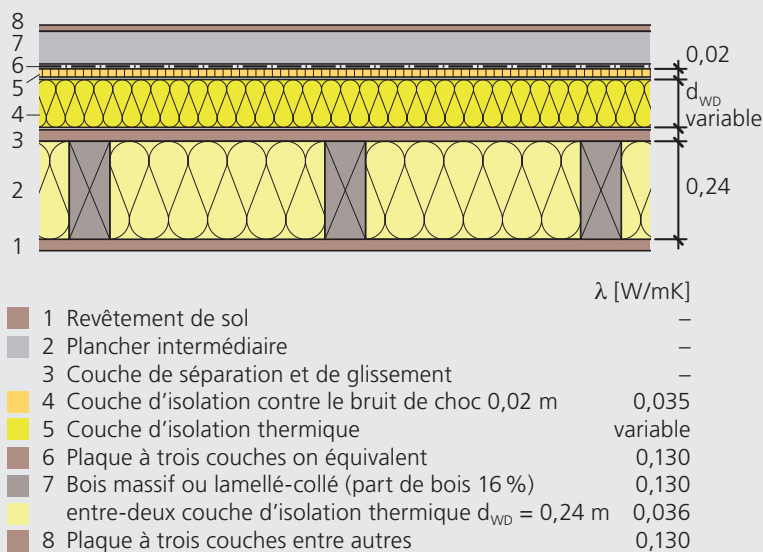
λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,35	0,30	0,26	0,24	0,21	0,19
Valeur U	[W/m²K]	0,100	0,101	0,100	0,101	0,100	0,101

Valeurs U Variante 2

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,26	0,23	0,19	0,18	0,16	0,14
Valeur U	[W/m²K]	0,099	0,099	0,101	0,100	0,098	0,101

Illustr. 31: Dalle en béton avec couche d'isolation thermique et de bruit de choc (deux variantes avec au total 0,04 m resp. 0,12 m de couche d'isolation thermique et de bruit de choc) et couche d'isolation thermique variable sous la dalle en béton. Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage incorporé (sans transmission de chaleur interne).

Illustr. 32: Dalle sur plancher en bois, avec 0,24 m de couche d'isolation thermique placée entre les poutres en bois. La couche d'isolation thermique variable et les 0,02 m d'isolation contre le bruit de choc sont placées sur plancher en bois. Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage de surface (sans transmission de chaleur interne).

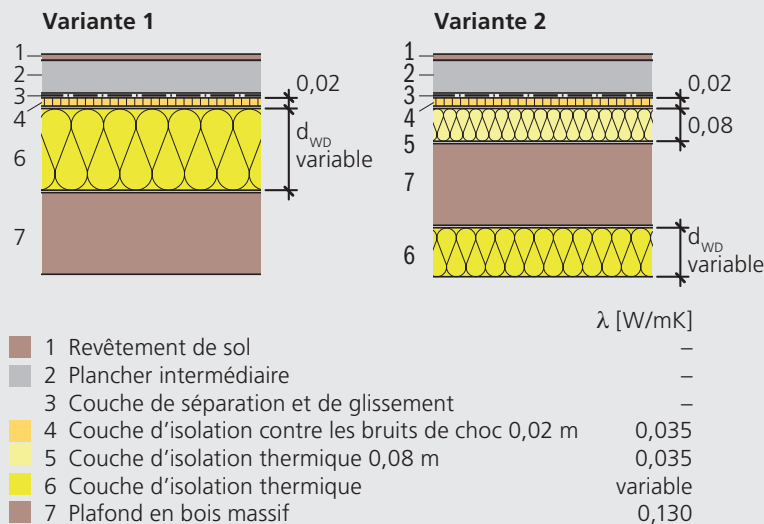


Valeurs U

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08
Valeur U	[W/m²K]	0,099	0,099	0,099	0,099	0,101	0,102

Illustr. 33: Dalle sur sol avec 20 cm d'épaisseur de plancher en bois massif. Variante 1 avec 0,02 m de couche d'isolation contre les bruits de choc et couche d'isolation thermique variable sur plancher en bois massif.

Variante 2 avec couche d'isolation thermique variable sous plancher en bois massif et couches fixes d'isolation thermique / contre les bruits de choc au-dessus. Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage de surface (sans transmission de chaleur interne).

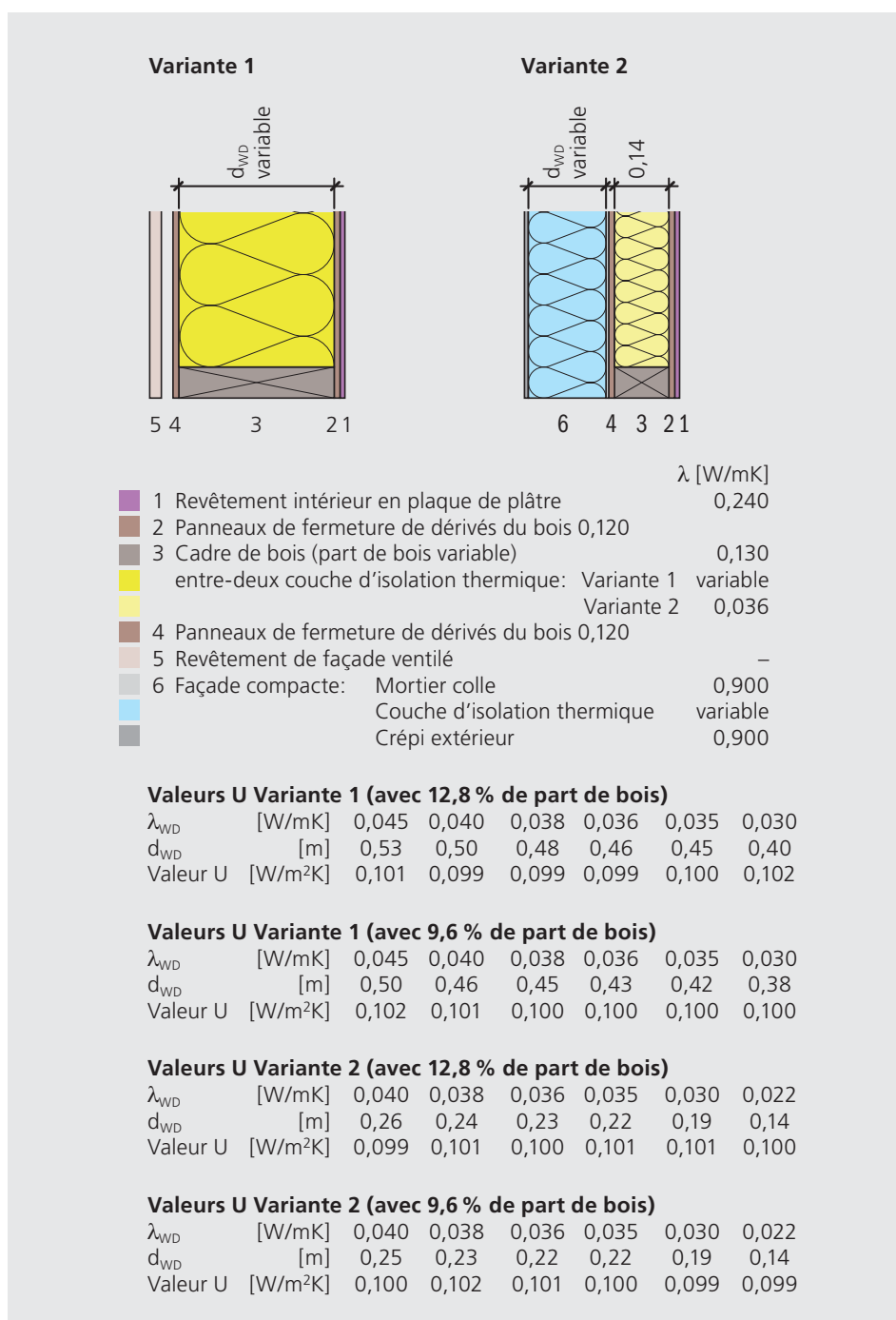


Valeurs U Variante 1

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,17
Valeur U	[W/m²K]	0,099	0,099	0,099	0,100	0,099	0,101

Valeurs U Variante 2

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,035	0,030	0,028	0,024	0,022
d_{WD}	[m]	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,12
Valeur U	[W/m²K]	0,101	0,099	0,099	0,099	0,097	0,101



Illustr. 34: Mur extérieur avec construction en cadre de bois en deux variantes, avec revêtement de façade ventilé et avec isolation extérieure crépie.

Variante 1 avec couche d'isolation variable avec différentes parts de bois pour murs extérieurs porteurs (12,8 %) et non porteurs (9,5 %, p. ex. pour les éléments de mur extérieur dans les constructions massives). Variante 2 également avec deux parts différentes de bois comme pour la variante 1, avec 0,14 m d'épaisseur d'isolation thermique entre les cadres en bois et isolation thermique extérieure variable et crépie.

Mur extérieur

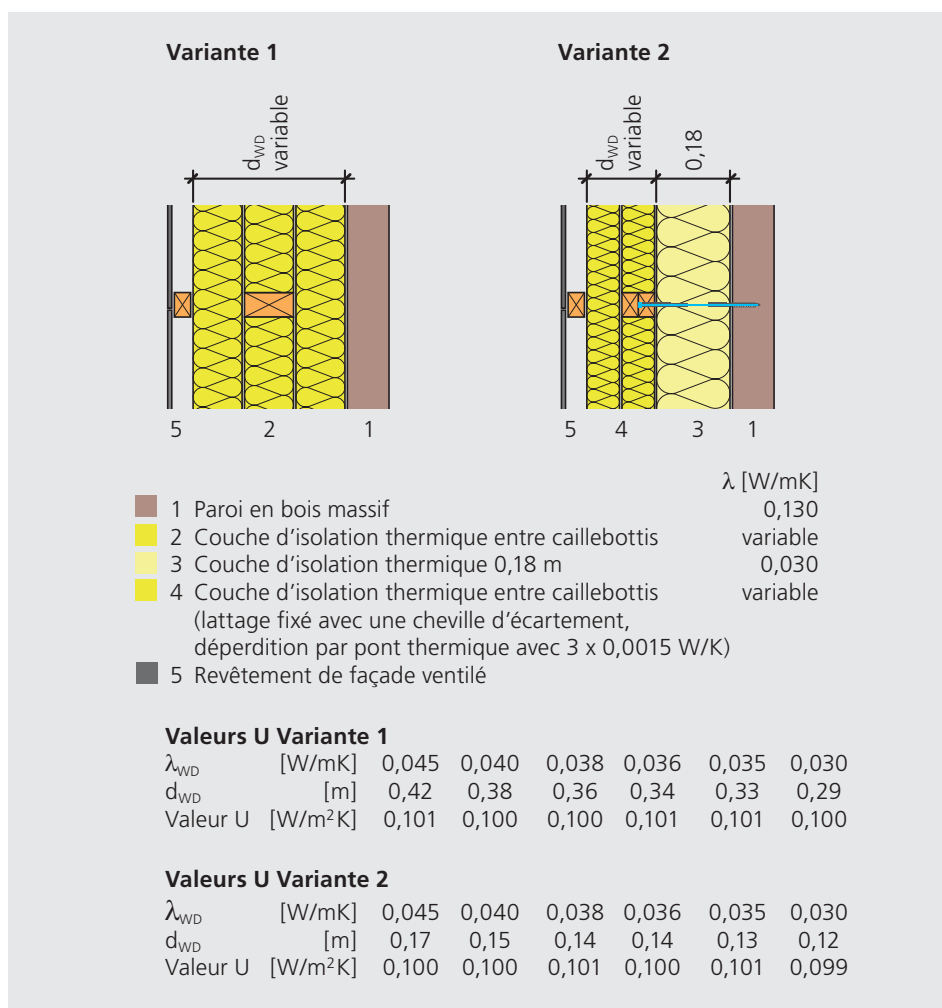
Lors de l'étude de constructions en général, et en particulier lors de l'étude de constructions dans le cadre du standard Minergie-P, le choix du mur extérieur représente une étape importante. Le mur extérieur marque sensiblement l'aspect architectural extérieur d'un bâtiment, par son ouverture, sa matérialisation (texture, couleur) et ses raccords aux autres éléments de construction (socle, ouvertures,

toiture). Souvent, le mur fait également partie de la structure porteuse d'un bâtiment; il peut reprendre les charges et les forces et agir comme contreventement. Pour les constructions Minergie-P s'ajoute l'exigence supplémentaire de pouvoir proposer une très bonne protection thermique avec une valeur U de l'ordre de 0,1 W/m² K. Tous les systèmes de mur extérieur ne satisfont pas cette exigence:

Illustr. 35: Construction massive: mur extérieure en deux variantes, avec revêtement de façade ventilé.

Variante 1 avec couche d'isolation thermique variable entre lattage croisé avec 5 % de parts de bois.

Variante 2 avec 0,18 m de couche d'isolation thermique et variable entre lattage croisé, avec 5 % de parts de bois. La déperdition par ponts thermiques des chevilles d'écartement (3 pièces par m² de mur extérieur) est prise en compte avec chacun 0,0015 W/K.



■ Les murs extérieurs à paroi simple homogènes tels qu'utilisés encore aujourd'hui dans les constructions qui respectent la loi sur l'énergie ne sont pas conformes à Minergie-P. Même avec des briques en terre cuite et des briques en béton cellulaire spéciales, le mur extérieur devrait présenter une épaisseur d'environ 1,2 à 1,6 m.

■ Les maçonneries à double paroi présentent des limites constructives concernant l'écart maximal des parois (ancrage articulé etc.) et peuvent proposer une protection thermique suffisante pour les constructions Minergie. Seuls des matériaux d'isolation thermique de hautes performances ($\lambda_D \leq 0,024$ W/mK) permettraient d'atteindre les valeurs U exigées par Minergie-P. Les épaisseurs de mur seraient alors de plus de 0,5 m.

■ En général, les isolations thermiques intérieures engendrent des déperditions par ponts thermiques tellement importantes

au niveau des raccords (p.ex. appui de dalle) que ce système ne peut être envisagé pour les murs extérieurs Minergie-P.

■ Les isolations extérieures avec des revêtements de façade ventilés engendrent au niveau des «supports traditionnels» des déperditions par ponts thermiques (consoles, rails etc. en aluminium ou en acier) tellement élevées qu'il est impossible d'atteindre des valeurs U de l'ordre de 0,1 W/m²K (Illustration 22). Avec quels systèmes les murs extérieurs adaptés à Minergie-P peuvent-ils donc être réalisés? Dans les constructions Minergie-P certifiées jusqu'ici, la construction de systèmes en bois fait partie des systèmes les plus utilisés, la construction à ossature bois étant majoritairement employée. Cependant, les murs extérieurs à haute isolation thermique sont également possibles dans la construction massive, par exemple avec des isolations périphériques crépies ou des re-

vêtements de façade ventilés avec des fixations spécial (Illustrations 23 et 24).

Les constructions de mur extérieurs suivantes peuvent atteindre des valeurs U autour de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$:

■ Construction à ossature bois (Illustration 34) avec une proportion de bois différente pour les murs extérieurs porteurs (construction en bois) et non porteurs (construction hybride), avec façade ventilée ou isolation périphérique crépie.

■ Construction en bois massif (Illustration 35) avec façade ventilée et différents systèmes de fixation ou isolation périphérique crépie.

■ Construction massive avec façade ventilée (Illustrations 36 et 37) pour différents types de murs en maçonnerie et de fixations ou avec isolation périphérique crépie (Illustration 38).

Mur contre locaux non chauffés

Les murs contre des locaux non chauffés font l'objet des mêmes réflexions que pour les murs extérieurs en ce qui concerne la protection thermique. Des valeurs U éventuellement un peu plus mauvaises autour de $0,2$ à $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ sont envisageables. Par conséquent, des systèmes de construction analogues sont utilisés, dans lesquels les revêtements de façade peuvent être supprimés et les épaisseurs des couches peuvent être éventuellement réduites.

Mur extérieur contre terre

Pour la partie porteuse du mur, on utilise presque exclusivement du béton armé contre terre, avec une couche de protection contre l'humidité côté extérieur.

L'utilisation de chemises de drainage, de plaques filtrantes et des drains garantit un drainage extérieur permettant d'éviter la formation d'eau sous pression. Le type de construction et d'isolation thermique repose principalement sur celui du mur extérieur hors terre ainsi que sur le besoin d'isoler l'appui de dalle dans la zone de raccord des deux murs (contre terre et hors terre) le plus possible sans ponts thermiques.

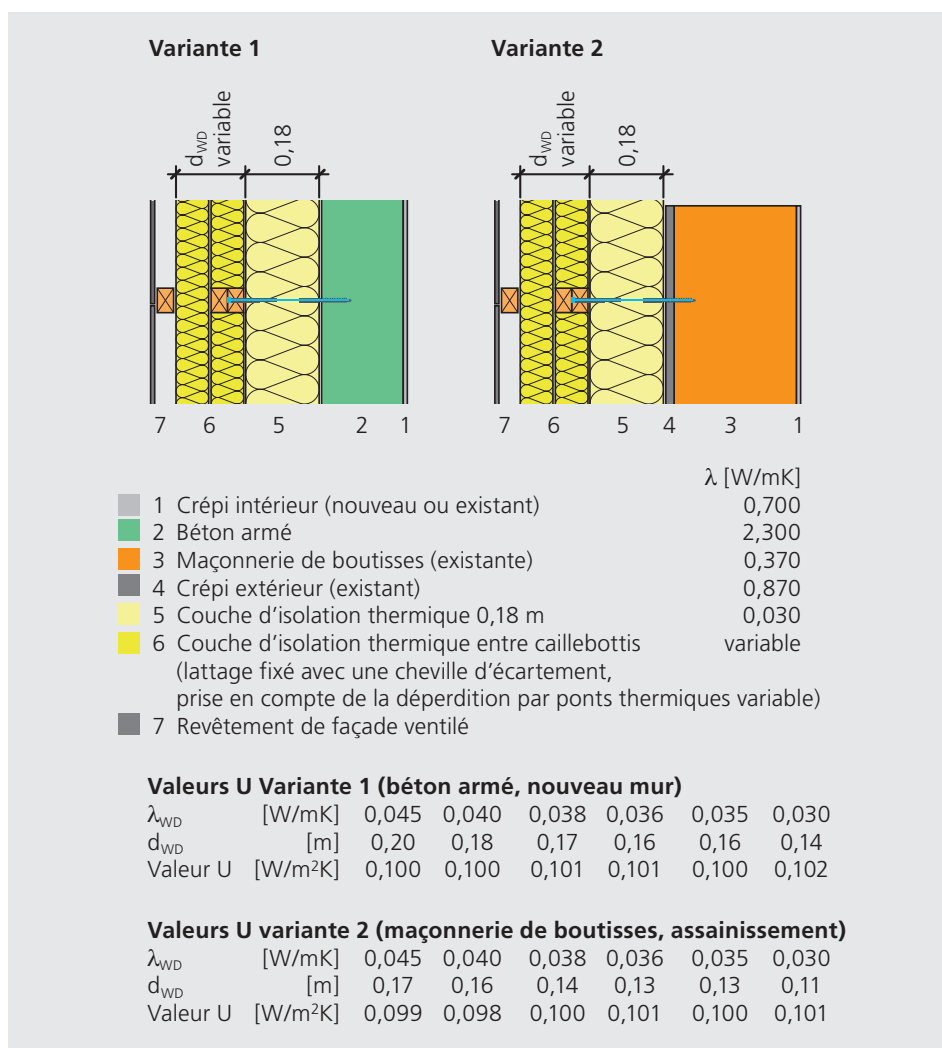
■ L'isolation périphérique (Illustration 39) est le système de construction le plus utilisé pour les murs extérieurs enterrés. Elle ga-

rantit parfaitement la protection thermique tant dans les constructions en bois (construction à ossature bois ou construction en bois massif) que dans les constructions massives avec isolation thermique extérieure (crépie ou avec façade ventilée).
■ En cas de mur à double paroi pour le mur extérieur hors terre, il est également intéressant d'utiliser une construction à double paroi pour le mur extérieur contre terre et lorsque des piliers sont utilisés comme éléments porteurs en sous-sol, l'appui de dalle peut également être isolé sans pont thermique avec une isolation thermique intérieure.

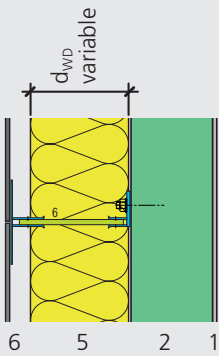
Illustr. 36: Construction massive: mur extérieur en deux variantes, avec revêtement de façade ventilé, 0,18 m de couche d'isolation thermique et variable entre lattage croisé, avec 5 % de part de bois. La déperdition par ponts thermiques des chevilles d'écartement (3 pièces par m² de mur extérieur) est prise en compte de façon variable, selon le mur porteur et la couche d'isolation.

Variante 1 pour un mur en béton armé de 0,2 m d'épaisseur, représentant des solutions pour constructions neuves également avec mur en briques silico-calcaire, briques de terre cuite etc.

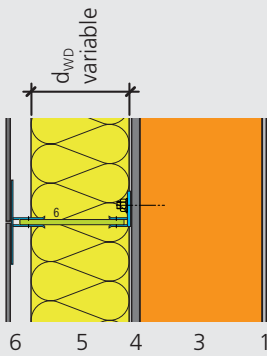
Variante 2 avec maçonnerie de boutisses de 0,3 m d'épaisseur, représentant les assainissements de murs extérieurs existants, avec des valeurs U d'env. 1,0 W/m² K.



Variante 1



Variante 2



	λ [W/mK]
1 Crépi intérieur (nouveau ou existant)	0,700
2 Béton armé	2,300
3 Maçonnerie de boutisses (existante)	0,370
4 Crépi extérieur (existant)	0,870
5 Couche d'isolation thermique	variable
6 Revêtement de façade ventilé (fixé à la console avec séparation thermique WDK, prise en compte de la déperdition par ponts thermiques variable)	

Valeurs U variante 1 (béton armé, nouveau mur)

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,035	0,032
d_{WD}	[m]	0,38	0,36	0,35	0,34	0,30
Valeur U	[W/m ² K]	0,103	0,103	0,100	0,100	0,104

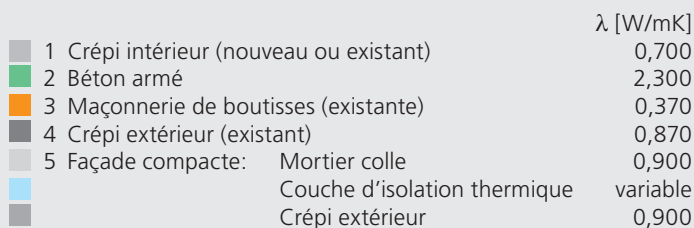
Valeurs U variante 1 (maçonnerie de boutisses, assainissement)

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,035	0,032
d_{WD}	[m]	0,36	0,34	0,32	0,31	0,28
Valeur U	[W/m ² K]	0,100	0,101	0,101	0,101	0,103

Illustr. 37: Construction massive: mur extérieur en deux variantes, avec revêtement de façade ventilé. La déperdition par ponts thermiques de la console avec séparation thermique (prise en compte de 2 pièces par m² de mur extérieur) ne varie que très peu en fonction du mur porteur et est tellement faible qu'elle est négligeable. La variante 1 pour un mur en béton armé de 0,2 m d'épaisseur, représente des solutions pour constructions neuves également avec mur en briques silico-calcaire, briques de terre cuite etc. Variante 2 avec maçonnerie de boutisses de 0,3 m d'épaisseur, représentant les assainissements de murs extérieurs existants, avec des valeurs U d'env. 1,0 W/m² K.

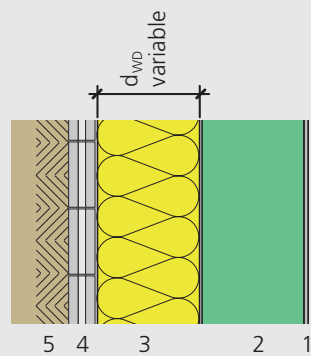
Variante 1 pour un mur en béton armé de 0,2 m d'épaisseur, représentant des solutions pour constructions neuves également avec mur en briques silico-calcaire, briques de terre cuite, etc.

Variante 2 avec maçonnerie de boutisses de 0,3 m d'épaisseur, représentant les assainissements de murs extérieurs existants, avec des valeurs U d'env. $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.



λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,035	0,030	0,022
d_{WD}	[m]	0,39	0,37	0,35	0,34	0,29	0,22
Valeur U	[W/m ² K]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,097

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,035	0,030	0,022
d_{WD}	[m]	0,36	0,34	0,32	0,31	0,27	0,20
Valeur U	[W/m ² K]	0,100	0,100	0,101	0,101	0,100	0,099



	λ [W/mK]
1 Crépi intérieur	0,700
2 Béton armé	2,300
3 Couche d'isolation thermique	variable
4 Couche de drainage	—
5 Terre	2,000

z = 0,5 m

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,034	0,032	0,030
d_{WD}	[m]	0,36	0,34	0,33	0,31	0,29	0,27
U_{GW0}	[W/m ² K]	0,108	0,108	0,106	0,106	0,107	0,108
b_{GW}	[—]	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
U_{GW}	[W/m ² K]	0,100	0,101	0,099	0,099	0,100	0,100

z = 1,5 m

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,034	0,032	0,030
d_{WD}	[m]	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26
U_{GW0}	[W/m ² K]	0,111	0,111	0,112	0,113	0,111	0,112
b_{GW}	[—]	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
U_{GW}	[W/m ² K]	0,099	0,099	0,100	0,101	0,099	0,100

z = 3,0 m

λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,038	0,036	0,034	0,032	0,030
d_{WD}	[m]	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24
U_{GW0}	[W/m ² K]	0,121	0,118	0,120	0,121	0,119	0,121
b_{GW}	[—]	0,83	0,84	0,83	0,83	0,84	0,83
U_{GW}	[W/m ² K]	0,101	0,099	0,100	0,101	0,099	0,101

z	Profondeur du mur dans la terre
U_{GW0}	Valeur U du mur contre terre sans influence de la terre
b_{GW}	Facteur de réduction près du mur contre terre
U_{GW}	Valeur U du mur avec influence de la terre (EN ISO 13370)

Illustr. 39: Mur extérieur contre la terre avec isolation du périmètre. Les conductibilités thermiques de l'isolation thermique sont variables, tout comme la profondeur z du mur dans la terre. Plus le facteur z augmente, moins la couche d'isolation thermique doit être épaisse pour atteindre une valeur U de U_{wg} de 0,1 W/m² K.

Dalle contre terre

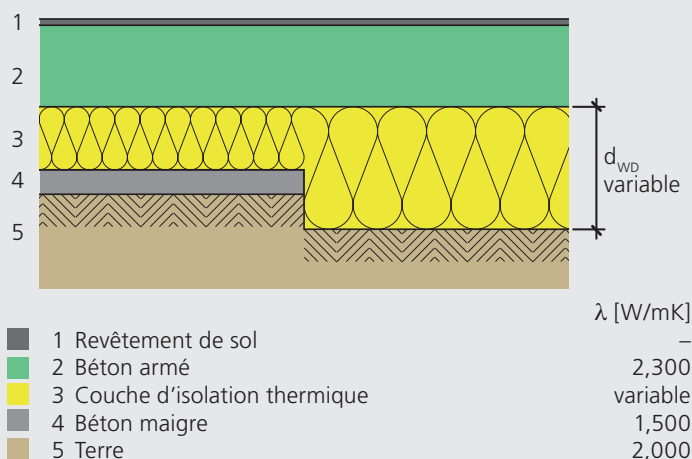
La dalle contre terre est principalement composée d'une dalle en béton qui, souvent, fait également office de fondation. Les murs porteurs extérieurs et intérieurs ainsi que les piliers reposent sur ce radier. Dans ce contexte, il s'agit de trouver la solution la plus optimale possible pour la disposition de la ou des couches d'isolation thermique, l'importance de cette décision étant d'autant plus lourde de conséquence (effet des ponts thermiques) que le bâtiment est intégré moins profondément dans la terre (facteur z). Il s'agit donc d'évaluer si la couche d'isolation thermique est placée au-dessus ou en dessous du radier ou s'il est intéressant de prévoir une couche d'isolation thermique aussi bien en dessous qu'au-dessus de la dalle.

■ Dans des cas exceptionnels, il est possible de supprimer les couches d'isolation thermique au-dessus de la dalle, par exemple sur des sols à haute capacité de charge ou carrossables (Illustration 40). Avec la couche d'isolation thermique sous la dalle, le raccord à l'isolation périphérique du mur extérieur se fait aisément, ce qui représente une solution dépourvue de ponts thermiques. Les matériaux d'isolation adaptés sont des plaques insensibles à l'humidité et résistantes à la pression en verre cellulaire ou en mousse rigide de polystyrène extrudé XPS ou en agrégat compacté de verre cellulaire.

■ Lorsque la protection contre les bruits de choc, les chauffages au sol, le choix des revêtements de sol etc. jouent un rôle, une partie de la couche d'isolation doit être disposée au-dessus de la dalle. La combinaison de couches d'isolation thermique et de protection contre le bruit de choc au-dessus et en dessous du radier (Illustration 41) permet, généralement, de satisfaire toutes les exigences et de créer des raccords sans ponts thermiques.

■ La disposition de toutes les couches d'isolation thermique et de protection contre le bruit de choc au-dessus de la dalle (Illustration 42) peut être judicieuse lorsqu'une isolation thermique intérieure est appliquée contre le mur extérieur contre terre et le raccord peut ainsi être effectuée

sans ponts thermiques. Les raccords aux murs extérieurs avec isolation périphérique engendrent des déperditions par ponts thermiques plutôt élevées et l'influence des ponts thermiques est importante même au niveau des murs intérieurs qui traversent la couche d'isolation thermique (placer des murs éventuellement sur élément porteur isolant).



$A_{FG} = 100 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 40 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,65	0,33	0,29	0,60	0,30	0,26
U_{GFO}	[W/m²K]	0,119	0,118	0,117	0,129	0,129	0,130
b_{GF}	[—]	0,84	0,84	0,84	0,78	0,78	0,78
U_{GF}	[W/m²K]	0,100	0,099	0,099	0,100	0,100	0,101

$A_{FG} = 400 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 80 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,56	0,28	0,25	0,51	0,26	0,22
U_{GFO}	[W/m²K]	0,138	0,138	0,135	0,151	0,148	0,153
b_{GF}	[—]	0,73	0,73	0,73	0,66	0,67	0,66
U_{GF}	[W/m²K]	0,100	0,100	0,099	0,100	0,099	0,101

$A_{FG} = 1600 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 160 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,40	0,20	0,18	0,36	0,18	0,16
U_{GFO}	[W/m²K]	0,190	0,190	0,185	0,211	0,211	0,207
b_{GF}	[—]	0,53	0,53	0,54	0,47	0,47	0,48
U_{GF}	[W/m²K]	0,101	0,101	0,100	0,100	0,100	0,099

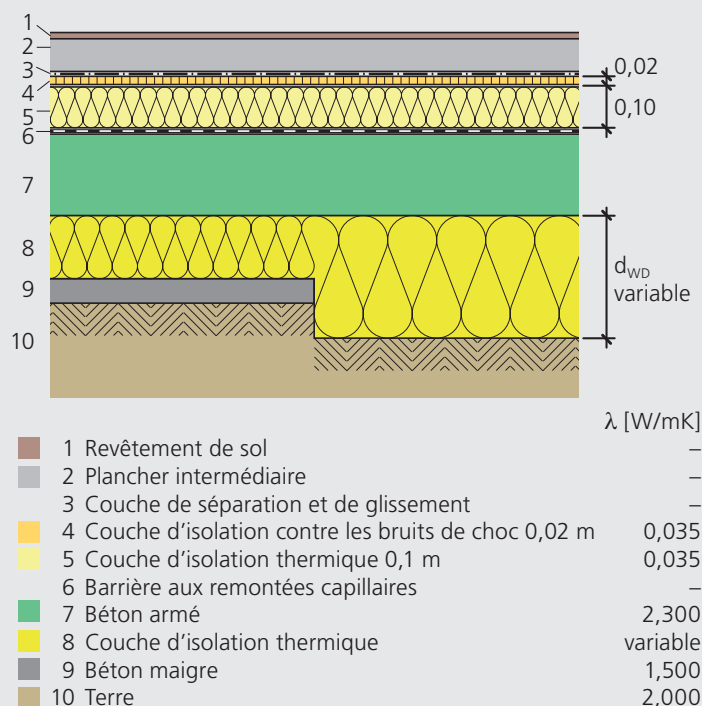
z	Profondeur de la dalle contre terre
A_{FG}	Surface du plancher
P_{FG}	Etendue de A_{FG}
U_{GFO}	Valeur U de la dalle contre terre sans influence de la terre
b_{GF}	Facteur de réduction de la dalle contre terre
U_{GF}	Valeur U de la dalle avec influence de la terre (EN ISO 13370)

Illustr. 40: Dalle contre terre avec couche d'isolation thermique sous le radier. Cette structure de construction est intéressante p. ex. lorsque le sol doit être carrossable.

Les matériaux d'isolation adaptés sont des plaques insensibles à l'humidité et résistantes à la pression en verre cellulaire ou en mousse rigide de polystyrène extrudé XPS ou des agrégats compactés de verre cellulaire.

Plus la surface du sol (A_{FG}) est grande et plus elle est profonde dans la terre (facteur z), moins la couche d'isolation thermique doit être épaisse pour atteindre une valeur U_{GF} de 0,1 W/m² K.

Illustr. 41: Dalle contre terre avec couche d'isolation thermique sous et sur le radier. Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage de surface (sans transmission de chaleur interne).



$A_{FG} = 100 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 40 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,39	0,20	0,17	0,35	0,17	0,15
U_{GFO}	[W/m²K]	0,119	0,117	0,119	0,126	0,128	0,128
b_{GF}	[—]	0,84	0,84	0,84	0,78	0,78	0,78
U_{GF}	[W/m²K]	0,100	0,099	0,100	0,099	0,100	0,100

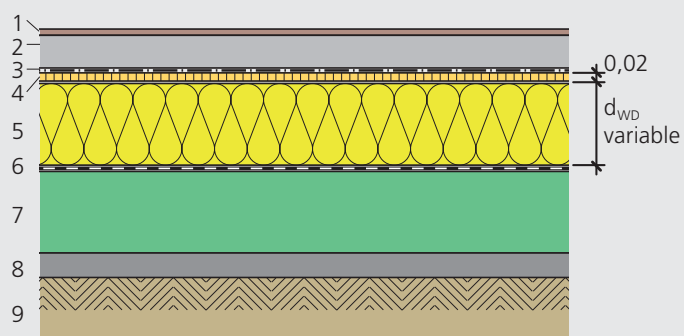
$A_{FG} = 400 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 80 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,30	0,15	0,13	0,26	0,12	0,11
U_{GFO}	[W/m²K]	0,137	0,137	0,138	0,147	0,153	0,149
b_{GF}	[—]	0,73	0,73	0,73	0,67	0,66	0,67
U_{GF}	[W/m²K]	0,100	0,100	0,100	0,099	0,101	0,100

$A_{FG} = 1600 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 160 \text{ m}$

		z = 0,5 m			z = 3,0 m		
λ_{WD}	[W/mK]	0,080	0,040	0,035	0,080	0,040	0,035
d_{WD}	[m]	0,15	0,07	0,06	0,10	0,05	0,04
U_{GFO}	[W/m²K]	0,184	0,189	0,190	0,208	0,208	0,213
b_{GF}	[—]	0,54	0,53	0,53	0,48	0,48	0,47
U_{GF}	[W/m²K]	0,099	0,101	0,101	0,099	0,099	0,100

z Profondeur du plancher dans la terre
 A_{FG} Surface du plancher
 P_{FG} Etendue de A_{FG}
 U_{GFO} Valeur U de la dalle contre terre ne tenant pas compte de l'effet isolant du terrain
 b_{GF} Facteur de réduction de la dalle contre terre
 U_{GF} Valeur U de la dalle avec influence de la terre (EN ISO 13370)



	λ [W/mK]
1 Revêtement de sol	—
2 Plancher intermédiaire	—
3 Couche de séparation et de glissement	—
4 Couche d'isolation contre les bruits de choc 0,02 m	0,035
5 Couche d'isolation thermique	variable
6 Barrière aux remontées capillaires	—
7 Béton armé	2,300
8 Béton maigre	1,500
9 Terre	2,000

$A_{FG} = 100 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 40 \text{ m}$

		$z = 0,5 \text{ m}$			$z = 3,0 \text{ m}$		
λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,030	0,022	0,040	0,030	0,022
d_{WD}	[m]	0,31	0,23	0,17	0,28	0,21	0,16
U_{GFO}	[W/m ² K]	0,118	0,120	0,119	0,130	0,130	0,126
b_{GF}	[—]	0,84	0,84	0,84	0,78	0,78	0,78
U_{GF}	[W/m ² K]	0,100	0,101	0,100	0,101	0,101	0,098

$A_{FG} = 400 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 80 \text{ m}$

		$z = 0,5 \text{ m}$			$z = 3,0 \text{ m}$		
λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,030	0,022	0,040	0,030	0,022
d_{WD}	[m]	0,26	0,20	0,15	0,24	0,18	0,13
U_{GFO}	[W/m ² K]	0,139	0,136	0,133	0,149	0,149	0,152
b_{GF}	[—]	0,73	0,73	0,73	0,67	0,67	0,66
U_{GF}	[W/m ² K]	0,101	0,099	0,098	0,100	0,100	0,101

$A_{FG} = 1600 \text{ m}^2$; $P_{FG} = 160 \text{ m}$

		$z = 0,5 \text{ m}$			$z = 3,0 \text{ m}$		
λ_{WD}	[W/mK]	0,040	0,030	0,022	0,040	0,030	0,022
d_{WD}	[m]	0,19	0,14	0,10	0,16	0,12	0,09
U_{GFO}	[W/m ² K]	0,184	0,187	0,191	0,213	0,213	0,209
b_{GF}	[—]	0,54	0,54	0,53	0,47	0,47	0,48
U_{GF}	[W/m ² K]	0,099	0,100	0,101	0,100	0,100	0,099

z	Profondeur du plancher dans la terre
A_{FG}	Surface du plancher
P_{FG}	Etendue de A_{FG}
U_{GFO}	Valeur U de la dalle contre terre ne tenant pas compte de l'effet isolant du terrain
b_{GF}	Facteur de réduction de la dalle contre terre
U_{GF}	Valeur U de la dalle avec influence de la terre (EN ISO 13370)

Illustr. 42: Dalle contre terre avec couche d'isolation thermique et acoustique sur le radier.
Remarque: Valeurs U valables pour le chauffage de surface (sans transmission de chaleur interne).

Éléments de construction transparents

La fenêtre influence considérablement le bilan énergétique et en définitive la consommation d'énergie d'un bâtiment (Illustration 43) et soulève, en particulier pour les bâtiments Minergie-P, quelques questions concernant la planification, l'évaluation et l'appel d'offres de fenêtres adaptées. L'expérience des nombreux projets Minergie-P montre que les fenêtres sont déterminantes dans la capacité de respecter ou non le standard Minergie-P. Le calcul effectué selon la norme SIA 380/1 montre que la fenêtre influence le bilan énergétique et, par conséquent, les besoins de chaleur pour le chauffage décisifs pour Minergie-P, par le biais des paramètres suivants.

Dépense d'énergie par transmission

Les dépenses de chaleur par transmission sont engendrées, d'une part, directement par la fenêtre (surface des fenêtres, valeur U_w de la fenêtre). D'autre part, les ponts thermiques résultant du type de montage des fenêtres (embrasure, allège, linteau) ont également un impact sur les dépenses d'énergie. Par conséquent, voici les facteurs qui influencent les dépenses de chaleur par transmission tout autour de la fenêtre :

■ La construction du cadre (surface de projection extérieure A_f dans le vide fini, valeur U_f).

■ Le vitrage (surface vitrée A_g , valeur U_g ; longueur totale de l'intercalaire, déperditions par ponts thermiques Ψ_g).

■ Les influences géométriques (position de la fenêtre par rapport au mur extérieur) et des matériaux (éléments conducteurs de chaleur, en particulier profilés alu) lors du montage d'une fenêtre (déperditions par ponts thermiques Ψ_E).

Apport énergétique grâce au rayonnement solaire

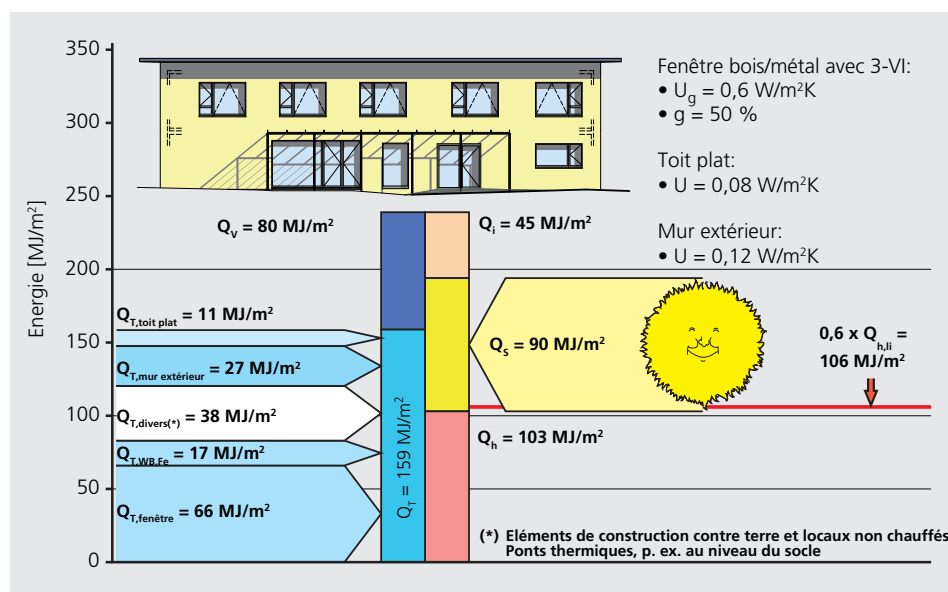
Les fenêtres entraînent, généralement, des apports solaires passifs même si elles n'ont pas été spécialement optimisées à cette fin. Cependant, ces apports ont une importance telle pour Minergie-P que le planificateur ne peut éviter une optimisation correspondante :

■ Surface vitrée A_g la plus grande possible, p. ex. en utilisant de grandes surfaces de fenêtre sans trop de subdivisions (surfaces du cadre au niveau des parties centrales, éviter les traverses etc.) et section des cadres permettant un recouvrement par l'isolation.

■ Choisir des vitrages avec un taux de transmission d'énergie globale g le plus élevé possible.

■ Orienter le bâtiment de façon à ce que les grandes fenêtres profitent du rayonnement global élevé vers le sud.

Illustr. 43: Le bilan énergétique illustré est typique pour les constructions Minergie-P. Lors du montage, les fenêtres, conjointement aux ponts thermiques, occasionnent plus de 50 % des dépenses par transmission thermique. La part utilisable des apports énergétiques par le rayonnement solaire est toutefois encore nettement supérieure aux dépenses par les fenêtres.



■ Les apports énergétiques dus au rayonnement solaire peuvent être considérablement réduits par l'ombrage (facteur F_s). Il convient de prendre en compte l'ombrage dû à l'horizon (montagne, bâtiment voisin), aux éléments saillants (linteau, balcon, avant-toits) et aux écrans latéraux (décalages des bâtiments, embrasure).

■ Le taux d'utilisation des apports de chaleur η_g dépend de la capacité d'accumulation thermique du bâtiment (plus elle est grande, plus le taux d'utilisation η_g est élevé) et du rapport entre les apports énergétiques et les déperditions énergétiques (plus les apports sont importants, plus la proportion de ceux-ci utilisée est faible).

L'utilisateur a une grande influence sur les apports d'énergie solaire obtenus lors de l'exploitation:

■ Ne pas utiliser, dans la mesure du possible, protections solaires mobiles pendant la période de chauffage.

■ S'accommoder d'une température plus élevée que la température de confort souhaitée.

■ Ne pas couvrir de tapis le sol stockant la chaleur.

Déperditions de chaleur par renouvellement d'air

Selon les calculs, le renouvellement d'air souhaité ou non, à travers les fenêtres, n'a pas d'influence sur les besoins de chaleur pour le chauffage; un renouvellement d'air standard est pris en compte pour le justificatif 380/1. L'étanchéité à l'air des fenêtres, y compris du raccord au mur, s'avère cependant décisive pour l'étanchéité à l'air globale du bâtiment (test de Blower-door). Les facteurs ayant un impact sur les déperditions de chaleur par renouvellement d'air d'un bâtiment sont les suivants:

■ Étanchéité à l'air des fenêtres (feuillures, montage du vitrage).

■ Étanchéité à l'air au niveau du raccord mur/fenêtre.

■ Aération par les fenêtres, maîtrisée par l'utilisateur.

Critères techniques et thermiques et énergétiques relatifs aux fenêtres

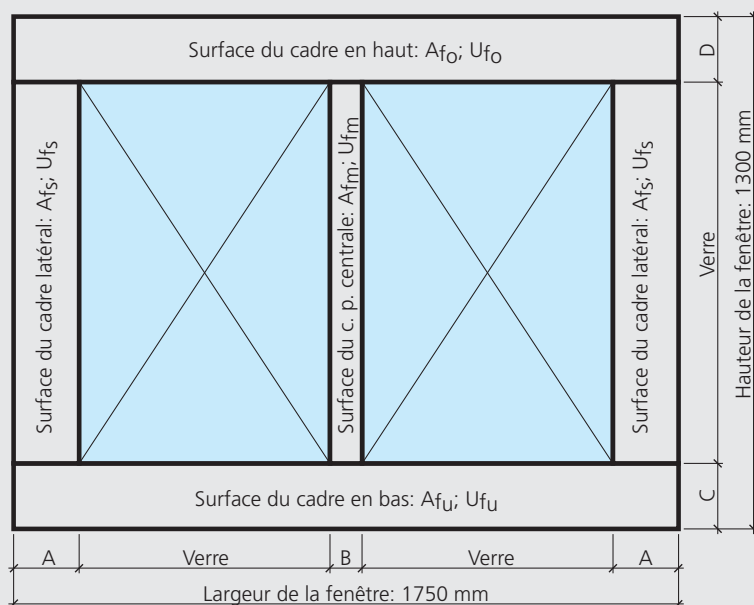
Les planificateurs ne peuvent influencer que de manière limitée les qualités d'une fenêtre, en dehors de l'évaluation de systèmes appropriés:

■ Position de la fenêtre par rapport au mur extérieur et les contraintes de raccordement qui y sont liées, avec effets sur les déperditions par ponts thermiques et la garantie de l'étanchéité à l'air côté chauffé.

■ Taille des fenêtres et subdivisions. Plus la fenêtre et les subdivisions sont grandes, plus la fenêtre est efficace sur le plan énergétique. Les critères importants pour comparer la qualité d'une fenêtre sur le plan technique et thermique et énergétique sont les suivants.

Valeur U du cadre

La valeur U du cadre de fenêtre est déterminée, par le biais de calculs ou d'opérations de mesure, en tant que valeur U_f moyenne des différentes parties du cadre pour une fenêtre de référence (Illustration 44). En règle générale, la valeur U_f est une caractéristique obligatoire fournie au planificateur par le fabricant de fenêtres (réclamer la fiche technique du produit ou le certificat!). Plus la part de cadre est grande, plus la valeur U du cadre est importante. C'est pourquoi les fenêtres certifiées maisons passives présentent majoritairement des cadres multicouches avec des valeurs U_f de 0,7 W/m²K. En Suisse, on privilégie plutôt, pour les bâtiments Minergie-P, de petites parts de cadre (le cadre de la fenêtre est recouvert par l'isolation quasiment jusqu'au vitrage) et on utilise des cadres de fenêtre présentant des valeurs U_f de 0,9 à 1,2 W/m²K. Autre facteur presque plus décisif encore que la valeur U en ce qui concerne la réduction des déperditions par ponts thermiques au niveau du montage: la position de la fenêtre. Des profils en alu très conducteurs de chaleur, qui entrent dans le périmètre d'isolation thermique, engendrent des déperditions par ponts thermiques trois fois plus grandes que pour une fenêtre optimale à cet égard.



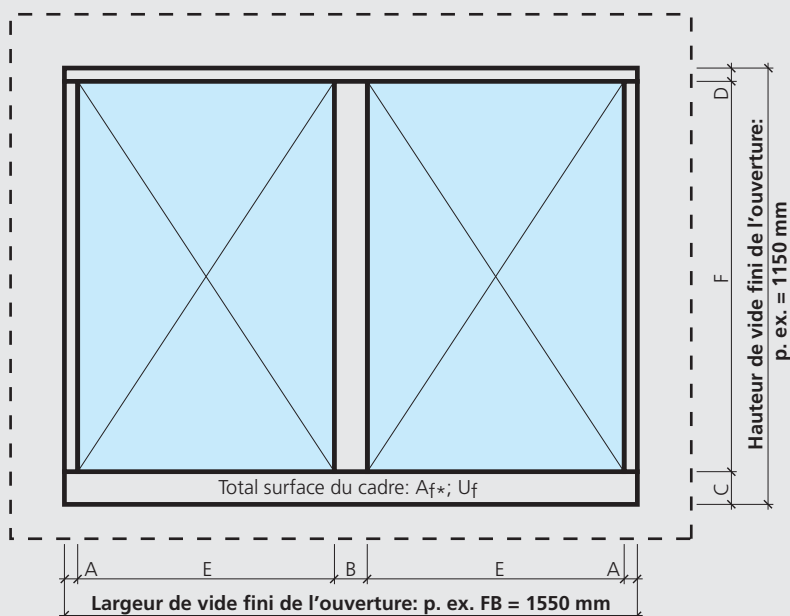
Surfaces des cadres

Surface du cadre latéral	$A_{fs} = 2 \cdot (1,3 - C - D) \cdot A \text{ [m}^2\text{]}$
Surface du cadre partie centrale	$A_{fm} = (1,3 - C - D) \cdot B \text{ [m}^2\text{]}$
Surface du cadre en bas	$A_{fu} = 1,75 \cdot C \text{ [m}^2\text{]}$
Surface du cadre en haut	$A_{fo} = 1,75 \cdot D \text{ [m}^2\text{]}$

Valeur moyenne U sur la surface du cadre

$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Illustr. 44: Dimensions et surfaces de déperdition de la fenêtre et formule pour le calcul de la valeur du cadre U_f .



Surfaces des cadres

Surface de la fenêtre	$A_w = FB \cdot FH \text{ [m}^2\text{]}$
Surface vitrée	$A_g = 2 \cdot E \cdot F \text{ [m}^2\text{]}$
Intercalaire	$I_g = (4 \cdot E) + (4 \cdot F) \text{ [m}^1\text{]}$
Surface du cadre dans le vide fini	$A_{f*} = A_w - A_g \text{ [m}^2\text{]}$
Périmètre de l'intégration des fenêtres	$I_E = 2 \cdot (FB + FH) \text{ [m}^1\text{]}$

Valeur U sur la fenêtre intégrée

$$U_w = \frac{A_{f*} \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g}{A_w} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Valeur U sur la fenêtre intégrée (avec Ψ_E)

$$U_{w,E} = \frac{A_{f*} \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g + I_E \cdot \Psi_E}{A_w} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Illustr. 45: Surfaces et longueur totale sur la fenêtre posée ainsi que formules pour le calcul des valeurs U des fenêtres U_w et $U_{w,E}$ (avec intégration du pont thermique Ψ_E).

Vitrage: valeur U, valeur Ψ_g et valeur g

Face aux nombreuses évolutions constatées ces dernières années, il est assez difficile d'effectuer des déclarations fiables sur les vitrages. Il est certain que Minergie-P exige de choisir les meilleurs vitrages possibles, qui sont, à l'heure actuelle, des triples vitrages:

■ Le gaz noble krypton n'étant a priori plus disponible, les valeurs U_g à atteindre ne sont plus de 0,5 W/m²K mais de 0,6 W/m²K. Cette valeur U peut être obtenue grâce à l'argon et à des revêtements isolants spéciaux.

■ L'intercalaire est fabriqué en acier inoxydable ou en matière synthétique. Il permet ainsi d'atteindre des déperditions par ponts thermiques Ψ_g d'environ 0,05 à 0,04 W/mK. Des déperditions Ψ_g encore plus faibles sont éventuellement possibles avec une profondeur d'assise du verre importante et une isolation de la bordure du vitrage.

■ Le taux de transmission d'énergie globale (valeur g) est important pour les apports solaires passifs. Actuellement, les triples vitrages présentent des valeurs g d'environ 48 %. Des verres (verre blanc) et des revêtements spéciaux permettent également d'atteindre des valeurs g supérieures mais sont toutefois plus coûteux.

Valeur U de la fenêtre

La valeur U_w de la fenêtre entre dans le calcul du bilan énergétique selon la norme SIA 380/1, en tant que valeur caractéristique des déperditions de chaleur. La valeur U_w repose sur la surface de la fenêtre en tant que surface de projection extérieure délimitée par les embrasures, la tablette de fenêtre et la retombée. U_w est influencée par les parts de surface et les valeurs U du cadre de la fenêtre et du vitrage ainsi que par la longueur totale de l'intercalaire et son coefficient linéique de transmission thermiques Ψ_g (Illustration 45). Elle doit être déterminée pour chaque fenêtre présentant une géométrie différente et des caractéristiques différentes de valeur U de cadre et le vitrage. Une valeur moyenne proportionnelle à la surface a fait ses preuves en fonction de la façade et de

l'orientation, et ce non seulement pour la valeur U mais également pour le taux de surface vitrée, la valeur g et les facteurs d'ombrage. Il est ainsi possible d'effectuer le calcul selon SIA 380/1 avec 1 portion de fenêtre par façade et différentes variantes de fenêtres peuvent désormais être comparées de manière très pratique. Les déperditions par ponts thermiques au niveau du montage jouent également un rôle déterminant dans la comparaison de l'efficacité énergétique de différentes fenêtres. La valeur U de la fenêtre $U_{w,E}$ tient compte, en plus de la valeur U_w , de l'influence de la longueur totale des appuis de la fenêtre et des déperditions par ponts thermiques Ψ_E . La valeur Ψ_E obtenue avec le détail de référence «embrasure» est prise en compte pour la comparaison des fenêtres.

Bilan énergétique à travers la fenêtre

Le bilan des déperditions par transmission moins les apports d'énergie solaire utiles permet certainement d'obtenir la valeur la plus importante concernant l'évaluation de l'efficacité énergétique. Si l'on tient compte également des déperditions par transmission à travers le biais des ponts thermiques au niveau du montage pour cette évaluation, la fenêtre est certainement évaluée de manière la plus professionnelle sur le plan de son efficacité énergétique. Une simple réduction des déperditions par le biais d'un «grand cadre épais» est donc tout autant pénalisée qu'une construction de cadre qui engendre des déperditions par ponts thermiques trop élevées.

Fenêtres adaptées à Minergie-P

Le planificateur et le maître d'ouvrage se demanderont quelles sont les fenêtres adaptées à Minergie-P. Les bâtiments Minergie-P doivent-ils obligatoirement avoir des fenêtres certifiées maisons passives, par exemple? Ou bien, une fenêtre «normale» est-elle suffisante, lorsqu'elle est équipée d'un bon vitrage? Lorsqu'il est prévu de monter des fenêtres certifiées maisons passives, le planificateur a la garantie d'atteindre au minimum les caractéristiques suivantes:

Depuis 2010, le module Minergie Fenêtres propose une liste recensant les fenêtres Minergie-P. Avec une valeur U de verre $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, elles atteignent une valeur U de fenêtre $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (pour une taille de fenêtre définie de 1,55 m sur 1,15 m). Liste et exigences sur www.minergie.ch → Module → Fenêtres.

■ Une petite fenêtre à un battant de 1,23 sur 1,48 m avec un vitrage standard de $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ permet d'atteindre une valeur $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

■ Si l'on tient compte des déperditions par ponts thermiques au niveau du montage de la fenêtre, on atteint une valeur $U_{w,E} \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les fenêtres certifiées maisons passives disposent de cadres plutôt épais en matériaux composites (constructions sandwich) ou composés de profilés en matière synthétique qui présentent de très bonnes valeurs U (U_f environ 0,7 à 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$). Par expérience, la part de cadre est cependant assez élevée et la surface vitrée est donc plus petite. En optant pour ce genre de fenêtre, les planificateurs peuvent déjà optimiser les besoins de chaleur pour le chauffage à l'aide de calculs, en intégrant une valeur U_w de 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$ et une valeur $U_{w,E}$ de 0,85 $\text{W/m}^2\text{K}$. Ils ont alors l'assurance que les fenêtres présenteront des valeurs U encore meilleures car les fenêtres spécifiques au bâtiment seront certainement plus grandes que la dimension normée des fenêtres pour maisons passives, à savoir 1,23 sur 1,48 m. En ce qui concerne les fenêtres courantes, s'il est impossible de livrer des données applicables de manière générale, il existe néanmoins certaines tendances:

■ Une fenêtre à double battant certifiée Minergie de 1,55 sur 1,15 m avec un vitrage standard de $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ permet d'atteindre une valeur $U_w \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ceci est possible avec des valeurs U_f de cadre de 1,3 $\text{W/m}^2\text{K}$.

■ En réduisant les parts de cadre, il est également possible d'atteindre, avec des fenêtres courantes, des valeurs U_w de 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$, telles qu'exigées par Minergie-P, par exemple. La part du cadre peut être influencée, d'une part, par le fabricant de fenêtres grâce à ces systèmes, et, d'autre part, par le planificateur en prévoyant la plus grande fenêtre possible sans subdivisions inutiles. La tendance s'oriente vers des constructions de fenêtre qui permettent de recouvrir presque tout le cadre avec l'isolation. Dans la projection extérieure, seules les parties centrales et le cadre inférieur sont encore visibles.

■ Il est d'ores et déjà possible de construire des «fenêtres normales» innovantes sur le plan du bilan énergétique, qui sont supérieures à la plupart des fenêtres pour maisons passives, et ce, à des prix comparables à ceux des fenêtres bois-métal traditionnelles avec le même vitrage.

Stratégie relative au choix des fenêtres

Les planificateurs doivent évaluer et mettre en soumission une fenêtre tenant compte le plus possible de tous les aspects énergétiques évoqués. Spécifier uniquement le verre et le matériau du cadre ne suffit pas, le planificateur dispose alors d'une multitude de solutions. Le texte de soumission doit clairement définir la fenêtre qui permettra d'atteindre le bilan énergétique qui lui est destiné (en cas d'orientation vers le sud, généralement des apports énergétiques, pendant la période de chauffage). A côté de cela, on devrait, au cours d'une procédure d'appel d'offres, disposer d'une certaine liberté, se laisser la possibilité de comparer au moins deux ou trois fenêtres possibles. Cela donne lieu aux réflexions stratégiques suivantes qui ont fait leurs preuves dans la pratique:

■ Vérifier les caractéristiques de trois modèles de fenêtre par rapport aux spécificités de bâtiment et ce dès la première phase du projet.

■ Tenir compte d'un «verre standard» que l'on peut vraiment se permettre ou que l'on veut vraiment, p.ex. un triple vitrage avec $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 48\%$ et un intercalaire en acier inoxydable.

■ Déterminer les valeurs caractéristiques de la fenêtre en se basant sur le «cadre le plus mauvais» et les prendre en compte pour l'optimisation des éléments de construction opaques en ce qui concerne le respect du critère Minergie-P «Besoins de chaleur pour le chauffage» dans le calcul SIA 380/1.

■ Mettre en soumission les variantes de fenêtres possibles (toutes celles qui permettent d'atteindre le standard Minergie-P), éventuellement avec les variantes de verre (p.ex. meilleure valeur g et intercalaire en matière synthétique).

■ Choisir l'offre optimale. Ainsi, on dispose éventuellement encore d'un peu de marge pour les éléments de construction opaques.

Comparaison des constructions de fenêtres

Nous comparons ci-après des fenêtres au niveau de la valeur U du cadre, de la valeur U de la fenêtre avec différentes dimensions de fenêtres et différents vitrages, au niveau des déperditions par ponts thermiques lors du montage et du bilan énergétique. Des conditions similaires imposées pour les calculs permettent de comparer les fenêtres de manière objective:

■ En ce qui concerne leur aptitude pour les bâtiments Minergie-P (avec valeurs U et bilan énergétique pour triple vitrage avec $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $\Psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$, $g = 0,54$) pour la station météorologique de Zurich SMA (représentative pour le Plateau suisse).

■ En ce qui concerne le respect des performances ponctuelles requise par la norme SIA 380/1 (édition 2009) avec différentes valeurs U du vitrage isolant de 1,2 à $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Valeur U du cadre U_f

Pour les trois parties du cadre (latérale/supérieure, inférieure) et la partie centrale, les valeurs U ont été déterminées à l'aide du calcul des ponts thermiques. Pour le calcul des valeurs U des fenêtres, une valeur U de cadre moyenne U_f a été calculée, laquelle repose sur la géométrie de la fenêtre Minergie à double battant de 1,75 sur 1,30 m (Illustration 44). Remarque: en général, les mesures des valeurs du cadre U_f dans la chambre climatique donnent des valeurs un peu meilleures; cela explique une différence éventuelle entre les valeurs U_f publiées ici et les valeurs U_f prouvées par les mesures selon les données des fournisseurs de système.

Valeur U de la fenêtre U_w ou $U_{w,E}$

La valeur U de la fenêtre à double battant est déterminée pour deux tailles de fenêtre différentes:

■ Fenêtre Minergie ou standard de 1,55 sur 1,15 m

■ Grande baie vitrée de 4,50 sur 2,50 m, les deux variantes ne tiennent pas compte du pont thermique Ψ_E au niveau du montage (U_w) ou intègrent ce dernier ($U_{w,E}$), et de cette manière, les déperditions par ponts thermiques au niveau de la butée latérale dans le mur extérieur de référence sont prises en compte sur toute l'étendue de la fenêtre posée (Illustrations 45 et 46). Dans la pratique et en fonction de la solution constructive au niveau du linteau et de l'allège, les déperditions par ponts thermiques effectives doivent être prises en compte. Pour le calcul des valeurs U_w des «fenêtres Minergie-P», il convient de tenir compte d'un triple vitrage avec $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ et $\Psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$ (intercalaire en acier inoxydable). Remarque: le krypton n'étant plus disponible, les vitrages présentant une valeur U_g de $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ne sont plus appropriés; puisque ces valeurs peuvent encore évoluer, la comparaison des fenêtres repose toujours sur des vitrages ayant une valeur U_g de $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Bilan énergétique

Le bilan énergétique des déperditions de chaleur par transmission moins les apports d'énergie solaire utiles se base sur les valeurs caractéristiques du tableau 9. Un taux de transmission d'énergie (valeur g) de 54 % a été utilisé. Remarque: Les modèles standard de triple vitrage présentent uniquement des valeurs g d'environ 48 %, un «verre solaire» est plus coûteux. La station météorologique choisie est celle de Zurich SMA, l'ombrage FS utilisé est de 0,8 et le taux d'utilisation pour les apports de chaleur η_g est de 0,6.

Déperditions par ponts thermiques au niveau du montage

Pour une comparaison objective, un détail de référence a été choisi pour la butée de fenêtre latérale (Illustration 46). Les déperditions par ponts thermiques Ψ_E ainsi déterminées sont intégrées lors du calcul des valeurs U de fenêtre $U_{w,E}$ et du bilan énergétique également pour l'allège et le linteau (ensemble de la fenêtre). Naturellement dans la pratique, les déperditions par ponts thermiques spécifiques au bâtiment

Tableau 9: Caractéristiques pour le bilan énergétique des fenêtres.

Valeur U	U_g	0,50	[W/m² K]
Intercalaire acier inoxydable	Ψ_g	0,05	[W/mK]
Coefficient de transmission d'énergie	g	0,54	[-]
Caractéristiques climatiques de la Station météorologique de Zurich SMA			
Degrés-jours de chauffage	HGT	3717	[Kd/a]
Rayonnement global sud	G_s	1710	[MJ/m²a]
Rayonnement global ouest	G_w	1016	[MJ/m²a]
Rayonnement global est	G_e	965	[MJ/m²a]
Rayonnement global nord	G_N	474	[MJ/m²a]
Facteur d'ombrage	F_s	0,8	[-]
Taux d'utilisation des apports de chaleur	η_a	0,6	[-]

Au total, 15 fenêtres de 7 fournisseurs ont été contrôlées, les principales valeurs caractéristiques sont réunies dans le tableau 10. On peut constater que lors de l'évaluation des fenêtres au niveau du bilan énergétique dans une orientation sud et compte tenu de la valeur $U_{w,E}$ de la fenêtre, que les fenêtres privilégiées sont celles qui présentent un taux de surface vitrée maximum (parties de cadre étroites dans la surface de projection extérieure de la fenêtre) et qui engendrent les déperditions thermiques par ponts thermiques les plus faibles possibles au niveau du montage. La comparaison dans la colonne «Bilan énergétique sud» (Tableau 10) est la plus judicieuse en ce qui concerne l'aptitude de la fenêtre pour les maisons Minergie-P.

Technical drawing of a wall section showing insulation, reinforcement, and a horizontal pipe with dimensions and material properties.

Dimensions (mm):

- Top insulation layer: 10
- Top insulation layer: 200
- Bottom insulation layer: 180
- Bottom insulation layer: 10
- Reinforcement bar diameter: 30
- Reinforcement bar diameter: 25

Material Properties:

- Thermal conductivity of masonry: $U_{mur} = 0,146 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Exposure coefficient: Ψ_E

Notes:

- 25 mm pour ferrures
- 30 mm pour fixation dans la maçonnerie

Matériaux		Conditions annexes		
	λ [W/mK]		θ [°C]	h [m²K/W]
 Masque (remplacement du vitrage)	0,035	Standard extérieur	−10,0	25,0
		Standard intérieur	20,0	7,7
 Insertion de fenêtres, variable	–	Standard cadre intérieur de fenêtre	20,0	5,0
 Crépi intérieur	0,700	Réduction cadre intérieur de fenêtre	20,0	7,7
 Maçonnerie en briques silico-calcaire	1,000			
 Isolation thermique extérieure	0,031			
 Crépi extérieur	0,900			

Fenêtres – Topfenster convenant aux constructions Minergie-P								
Fabricant, Marque	Valeur U du cadre U _f W/m ² K	Fenêtres à 2 vantaux 1,55 m/1,15 m			Fenêtres à 2 vantaux 4,50 m/2,50 m			Déperdition par pont thermique lors de l'intégration Ψ _E W/m K
		Valeurs U U _w , U _{w,E} W/m ² K		Bilan énergétique (sud) kWh/m ² a (*1)	Valeurs U U _w , U _{w,E} W/m ² K		Bilan énergétique (sud) kWh/m ² a (*1)	
		U _w	U _{w,E}		U _w	U _{w,E}		
1a Hunkeler								
Top-Win Plus	1,104	0,777	0,949	–12,5	0,613	0,683	–44,3	0,057
Top-Win Trend	1,383	0,808	1,099	0,4	0,625	0,745	–39,0	0,096
G. Baumgartner AG								
Saphir Integral	0,875	0,753	0,887	–16,2	0,603	0,658	–45,8	0,044
Ego Kiefer AG								
Fenêtre en matière synthétique XL	1,036	0,783	0,934	–9,9	0,617	0,679	–43,0	0,050
Fenêtre en matière synthétique XL avec blocage de froid	0,919	0,760	0,890	–15,8	0,606	0,659	–45,7	0,043
Fenêtre en matière synthétique – aluminium XL	1,033	0,782	0,955	–8,1	0,616	0,687	–42,3	0,057
Eschbal AG								
Sirius D	1,114	0,798	1,096	2,5	0,623	0,734	–37,9	0,090
Sirius D Plus	0,975	0,775	1,011	–2,6	0,613	0,710	–40,0	0,078
Sirius H2	1,194	0,807	1,007	–3,7	0,627	0,709	–40,4	0,066
Ernst Schweizer AG								
Schweizer HMM-H; Meko 5-H; Homena 100-H; Tobtherm basic-H	0,988	0,780	0,986	–3,9	0,616	0,701	–40,4	0,068
Schweizer HMM-Hi; Meko 5-Hi; Homena 100-Hi; Tobtherm basic-Hi	0,894	0,764	0,951	–6,9	0,609	0,686	–41,7	0,062
Schweizer HMF-Hi; Meko 21-Hi; Homena 555-Hi; Tobtherm eco2-Hi	0,893	0,764	0,973	–5,1	0,609	0,695	–40,9	0,069
IS-4 Hi	1,438	0,833	1,218	14,0	0,637	0,795	–33,0	0,127
Swissstarfenster AG								
Swiss Star Topfenster	1,003	0,815	0,970	3,9	0,633	0,696	–37,0	0,051
Swiss Star Minergie	1,214	0,874	1,047	10,5	0,657	0,728	–34,4	0,057
Swisswindows AG								
imago	1,047	0,776	0,910	–14,4	0,615	0,671	–42,8	0,044
Gruppe Vision-3000								
Vision-3000 Holz T2	1,064	0,790	0,978	–5,4	0,619	0,697	–41,2	0,062
Vision-3000 HM T2	1,157	0,805	1,105	5,9	0,625	0,749	–36,6	0,099
Vision-3000 HM/Holz T2	1,149	0,805	1,050	1,1	0,625	0,726	–38,6	0,081
Wenger Fenster AG								
Pollux 44 Isolar	0,809	0,744	0,889	–16,1	0,600	0,659	–45,7	0,048
Pollux 44	1,036	0,775	0,945	–11,1	0,613	0,682	–43,6	0,056

Tableau 10: Compilation des principales caractéristiques des fenêtres vérifiées.

(*1) avec prise en compte des ponts thermiques Ψ_E lors de l'intégration (un signe négatif signifie un apport d'énergie).

Etat actuel de la liste: www.topfenster.ch

Remarque: La comparaison dans la colonne «Bilan énergétique sud» est la plus judicieuse en ce qui concerne la qualification de la fenêtre pour les maisons Minergie-P.

Ponts thermiques: des points délicats

Les ponts thermiques sont des points de l'enveloppe du bâtiment où se produisent des modifications locales du flux de chaleur et des températures par rapport au cas unidimensionnel plan. On peut distinguer les situations suivantes:

■ Ponts thermiques dus aux matériaux au niveau des éléments de construction, par manque d'homogénéité (p.ex. couche d'isolation thermique entre la structure porteuse en bois) ou à la suite de l'interruption de la couche d'isolation thermique par des éléments de fixation. Ces ponts thermiques sont généralement pris en compte dans le calcul des valeurs U des éléments de construction (voir page 32 «Éléments de construction opaques des bâtiments Minergie-P»). En théorie, il serait également possible de calculer les valeurs U des éléments de construction dans une «zone non perturbée» et d'enregistrer séparément les ponts thermiques ponctuels et linéiques et de les considérer comme des déperditions de chaleur par transmission.

■ Ponts thermiques dus aux matériaux et à la géométrie au niveau des raccords. De par son projet, l'architecte «crée» également des points problématiques au niveau de l'enveloppe du bâtiment. Saillies et retraits, loggias, balcons – plus la structure du bâtiment est complexe, plus les «points de conflit» sont, en général, importants et nombreux. Un balcon continu, qui peut être isolé thermiquement de manière optimale, entraîne p.ex. des déperditions énergétiques considérablement plus faibles que certaines loggias qui sont «découpées» ici et là dans la construction. Les déperditions par ponts thermiques au niveau des raccords ne sont pas les seules conséquences; chaque découpe dans le bâtiment s'accompagne d'une toiture plate et d'un plancher contre l'extérieur. Un raccord est la rencontre de deux à trois éléments de construction avec des couches et des fonctions différentes. Les éléments porteurs en particulier peuvent, lorsqu'ils traversent l'isolation thermique, engendrer des ponts thermiques importants, comme p.ex. au

niveau du socle (Illustration 47). Les raccords principaux doivent être analysés (et optimisés) à l'aide du calcul des ponts thermiques afin de pouvoir intégrer les déperditions par ponts thermiques appropriées dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage. À la place des calculs de ponts thermiques, on peut également tenir compte de l'influence de ces ponts en se basant sur le Catalogue des ponts thermiques élaboré spécialement pour les bâtiments Minergie-P (éditeur: Office fédéral de l'énergie, 3003 Berne). Cependant, les données du catalogue ne correspondent jamais précisément aux données spécifiques à un ouvrage. De plus, par sécurité, les valeurs caractéristiques du catalogue tiennent essentiellement compte des valeurs les plus élevées (déperditions par ponts thermiques plus élevées), ce qui incite certainement à considérer des valeurs correctes et optimisées en fonction de l'objet considéré.

■ Conditions différentes localement, p.ex. sources de chaleur en cas de chauffages au sol. Ces influences sont intégrées dans le calcul des déperditions de chaleur par transmission selon la norme SIA 380/1.

Ponts thermiques dans les constructions en bois

Les déperditions par ponts thermiques dans les constructions en bois sont généralement négatives par rapport aux dimensions extérieures (norme SIA 380/1: surfaces d'éléments de construction avec dimensions extérieures). Cela signifie qu'aucune déperdition par ponts thermiques ne doit être intégrée au niveau des arêtes d'un bâtiment (angles, socle, acrotère de toiture etc.). La pose de fenêtres et de portes engendre toutefois dans les constructions en bois des déperditions par ponts thermiques supplémentaires (Illustration 55), qui doivent être prouvées et prises en compte.

Ponts thermiques dans les constructions mixtes

Le raccord entre deux éléments de construction en bois peut être réalisé sans pont thermique. Dans la zone de raccord

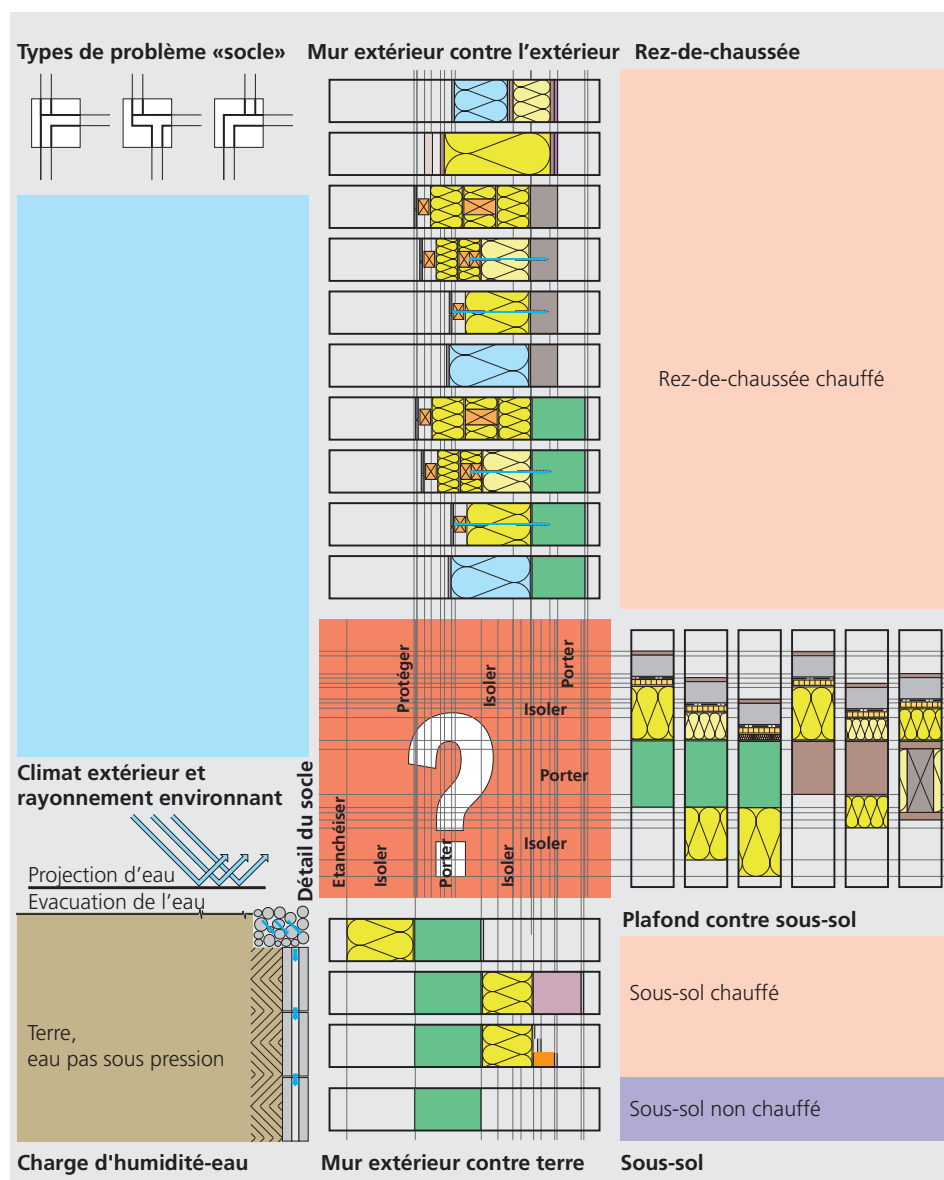
avec la construction massive (p.ex. appui de dalle en cas de plancher en béton armé), les ponts thermiques sont toutefois inévitables. La pose de fenêtres et de porte engendre également des ponts thermiques.

Ponts thermiques dans les constructions massives

Plus la conductibilité thermique des matériaux est importante, plus on doit s'attendre à des déperditions par ponts thermiques au niveau des raccords (Illustrations 48 à 55). Contrairement aux dérivés du bois (env. 0,14 W/mK), les briques en terre cuite (env. 0,44 W/mK), les briques silico-calcaires (env. 1,0 W/mK), le béton armé (env. 2,3 W/mK), l'acier de construc-

tion (env. 50 W/mK) et l'aluminium (env. 160 W/mK) entraînent un flux d'énergie localement bien supérieur lorsqu'ils traversent l'isolation thermique. Outre le montage des fenêtres, de nombreux détails de construction sont importants du point de vue des déperditions par ponts thermiques dans la construction massive:

- Pans de mur porteur, qui traversent l'isolation thermique, p.ex. au niveau du socle (Illustration 48), des murs intérieurs (Illustrations 49 à 51), de l'acrotère de toiture (Illustration 52) et des parapets (Illustration 53).
- Raccords de porte-à-faux avec la dalle en béton au moyen de consoles isolantes, tels que des balcons, des avant-toits etc. Des



Illustr. 47: Au niveau du socle, il n'y a pas seulement la superposition de deux murs extérieurs différents et d'un plafond, il s'ajoute encore des exigences multiples en raison des «conditions du climat extérieur». Des sollicitations mécaniques et la protection contre les projections d'eau et l'humidité influencent le choix de la construction, de même que des points de vue énergétique et thermique.

dalles en porte-à-faux en matière synthétique renforcée de fibres peuvent diviser par 3 les déperditions par ponts thermiques par rapport à des dalles en porte-à-faux traditionnels.

■ Des tôles et des profilés métalliques qui traversent l'isolation thermique, p.ex. au niveau de l'acrotère de toiture (Illustration 52) et des raccords de parapets. Plus la protection thermique est satisfaisante au niveau des éléments de construction (elle ne sera guère meilleure que dans des bâtiments Minergie-P), plus les points faibles locaux au niveau des raccords ont une forte incidence sur l'ensemble des déperditions de chaleur par transmission. Des déperditions par ponts thermiques peuvent atteindre 0,1 à 0,3 W/mK dans des constructions massives conformes au standard Minergie-P. Un mètre de raccord ou de pont thermique entraîne des déperditions d'énergie qui correspondent à celles d'un élément de construction extérieur de 1 à 3 m² avec une valeur U de 0,1 W/m²K!

Ponts thermiques au niveau des raccords: exemples

Ponts thermiques au niveau du socle

Le socle est important pour les déperditions par ponts thermiques, notamment lorsque le sous-sol n'est pas chauffé. Dans le socle, le rez-de-chaussée chauffé rencontre alors le sous-sol non chauffé et cette zone se trouve, selon la configuration du terrain, hors terre respectivement contre terre.

Le socle est souvent le détail le plus difficile à optimiser. Les quatre variantes calculées (Illustration 48) renseignent sur les possibilités de construction lorsque le mur extérieur hors terre porteur (au rez-de-chaussée) est un mur en briques silico-calcaires. En cas de murs porteurs de contreventement en béton armé (sécurité sismique), il est encore plus difficile de trouver des solutions optimisées sur le plan énergétique.

■ Dans la variante 1, la dalle en béton est isolée uniquement par le haut. Le mur porteur (en briques silico-calcaires dans l'exemple) traverse l'isolation et forme un

pont thermique. Il engendre des déperditions par ponts thermiques élevées de $\psi = 0,066$ W/mK.

■ Dans la variante 2, le mur du sous-sol est réalisé avec une isolation périphérique. La déperdition de chaleur provenant du rez-de-chaussée est ainsi réduite. La valeur ψ s'élève encore dans ce cas à 0,03 W/mK.

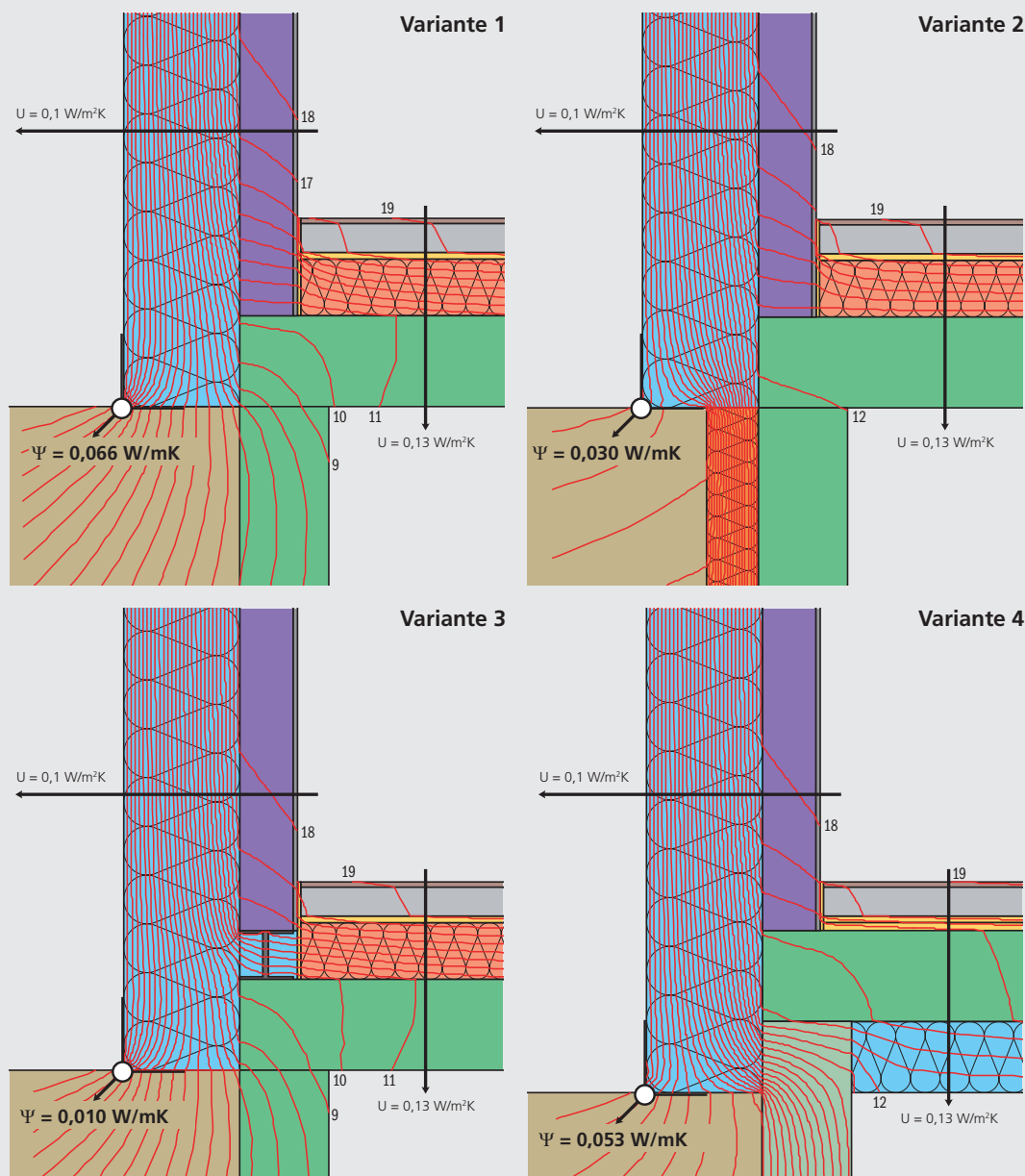
■ Dans la variante 3, le mur porteur est séparé de la dalle en béton armé. Cette solution s'est révélée la plus efficace. Elle permet de réduire la valeur ψ à seulement 0,01 W/mK. Un élément Thermur a été intégré en raison de la hauteur du bâtiment (statique, descente des charges). Suivant les contraintes statiques, de meilleurs éléments sur le plan technique et énergétique et moins solides peuvent également être utilisés. Il pourrait s'agir par exemple d'un élément Perinsul (brique en verre cellulaire avec $\lambda = 0,058$ W/mK). Lors de l'utilisation d'un tel élément, les déperditions par ponts thermiques s'élèveraient à 0,01 W/mK; aucune déperdition supplémentaire n'est donc générée par rapport à la dimension extérieure.

■ Dans la variante 4, seule une partie de l'isolation thermique se trouve sur la dalle en béton armé; la majeure partie de l'isolation est appliquée dans le sous-sol en sous-face de dalle. Le mur en béton armé dans le sous-sol traverse, cependant, l'isolation thermique et engendre des déperditions par ponts thermiques. Avec du béton armé normal, la valeur ψ serait d'environ 0,166 W/mK. Grâce à l'utilisation de béton Misa-por (agrégats en verre cellulaire), cette solution permet d'atteindre, suivant la conductibilité du béton, des valeurs ψ de 0,053 W/mK (avec $\lambda = 0,3$ W/mK) ou 0,023 W/mK (avec $\lambda = 0,15$ W/mK).

Ponts thermiques au niveau des murs intérieurs

Les illustrations 49 à 51 permettent d'expliquer les déperditions par ponts thermiques des murs intérieurs qui traversent l'isolation thermique au niveau des planchers contre locaux non chauffés (déperditions de chaleur réduites du facteur b) contre l'extérieur.

■ En cas de murs en béton armé traversant l'isolation thermique (Illustration 49), les



	$\lambda \text{ [W/mK]}$
Revêtement de sol	0,140
Plancher intermédiaire	1,500
Couche d'isolation contre le bruit de choc	0,032
Couche d'isolation thermique	0,035
Couche d'isolation thermique	0,024
Béton armé	2,300
Béton Misapor	0,300
Briques silico-calcaires	1,000
Crépi intérieur	0,700
Terrain	2,000

Illustr. 48: Ponts thermiques au niveau du socle. Avec des valeurs Ψ de 0,01 W/mK jusqu'à 0,066 W/mK, la déperdition par pont thermique varie presque d'un facteur 7.

dépense par ponts thermiques augmentent avec des valeurs ψ de 0,519 à 0,694 W/mK, en fonction de la disposition des couches d'isolation thermique (au-dessus et respectivement au-dessous). Il est difficile de trouver de meilleures solutions sur le plan énergétique. On pourrait éventuellement envisager de réduire le mur porteur à des éléments ponctuels ou d'utiliser du béton spécial avec agrégats en verre cellulaire (p. ex. béton Misapor).

■ En cas de murs en briques en terre cuite ou en briques silico-calcaires traversant l'isolation thermique (Illustration 50), les dépenses par ponts thermiques sont considérablement plus faibles qu'avec des murs en béton armé et il existe également de nombreuses possibilités d'optimisation. Les dépenses les plus faibles sont engendrées avec des valeurs ψ de 0,023 à 0,038 W/mK, lorsqu'il n'y a pas de pans de mur dans le local inférieur non chauffé (p. ex. garages souterrains) et qu'une partie de la couche d'isolation thermique peut être mise en oeuvre sans discontinuité. Lorsqu'un pan de mur traverse la dalle sur sous-sol, les dépenses par ponts thermiques sont nettement supérieures au cas

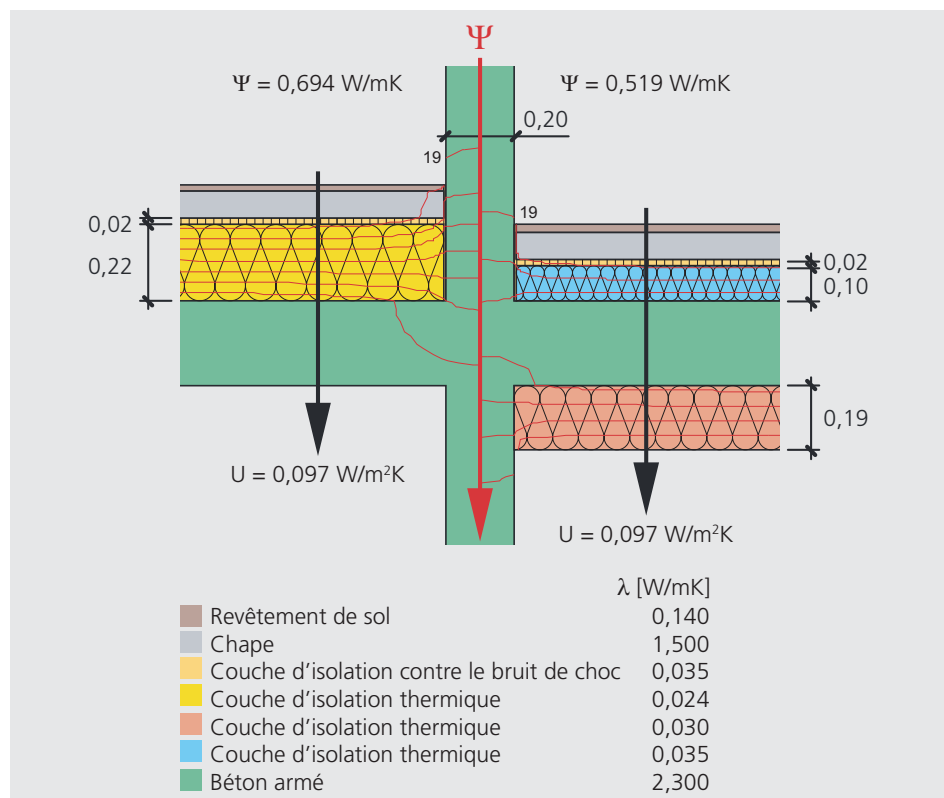
présenté précédemment avec des valeurs ψ de 0,158 à 0,315 W/mK et, pour Miner-gie-P, une solution avec pan de mur séparé thermiquement de la dalle en béton armé est donc indispensable. Lorsque les murs sont séparés de la dalle en béton armé par des éléments isolants et porteurs, il est judicieux d'appliquer toute l'isolation thermique sur la dalle.

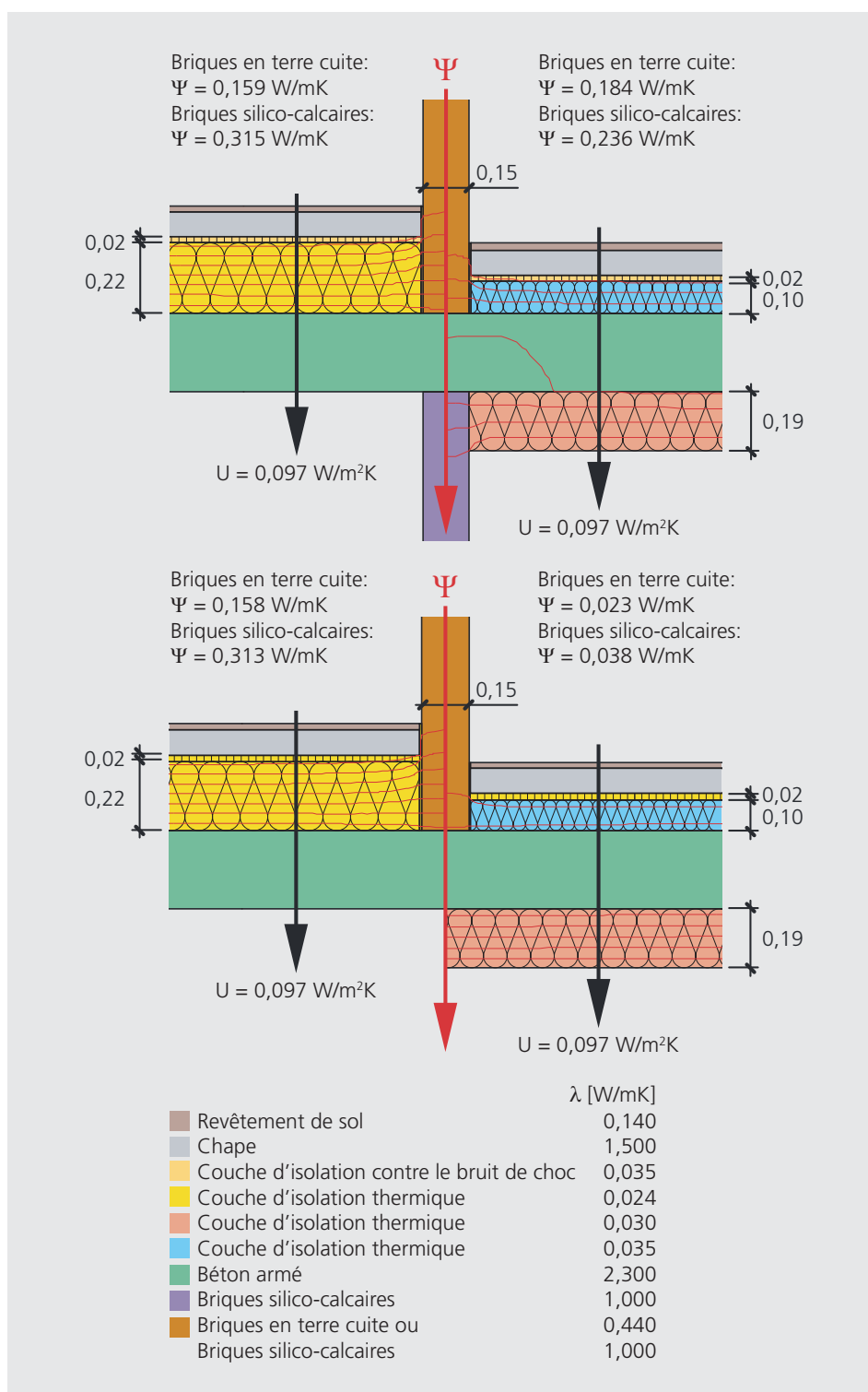
L'illustration 51 indique les dépenses par ponts thermiques obtenues dans un tel cas avec des maçonneries en briques en terre cuite et en briques silico-calcaires, avec trois éléments isolants différents et de différentes hauteurs. Les dépenses par ponts thermiques ψ vont de 0,055 à 0,167 W/mK. Le recours possible à des éléments isolants et porteurs doit être discuté avec l'ingénieur civil.

Ponts thermiques au niveau des acrotères de toitures plates

Dans la pratique actuelle de la construction, on met en oeuvre dans la zone d'acrotère les supports linéaires en tôle d'équerre qui traversent l'isolation thermique. Les dépenses ψ s'élèvent dans ce cas à 0,217 W/mK – les dépenses

Illustr. 49: Les inter-pénétrations souvent indispensables pour des raisons statiques du périmètre d'isolation thermique avec les murs en béton armé engendrent de très fortes dépenses par ponts thermiques. Des solutions d'optimisation peuvent éventuellement proposer la «dissolution» des panneaux muraux dans certaines «têtes de soutien» ou l'utilisation de béton spécial avec agrégats en verre cellulaire (p. ex. béton Misapor).





Illustr. 50: Par rapport au mur en béton armé de 0,2 m d'épaisseur interpénétrant de l'illustration 49, les murs en briques en terre cuite ou en briques silico-calcaires de 0,15 m d'épaisseur engendrent des pertes par ponts thermiques nettement inférieures (variantes avec/sans mur en briques silico-calcaires dans pièce inférieure). Celles-ci sont toutefois encore trop élevées pour Minergie-P et exigent une optimisation par le biais d'une isolation de la dalle en béton armé (Illustr. 51).

énergétiques qui en résultent sont trop importantes pour Minergie-P (Illustration 52, variante 1). Des tôles avec séparation thermique permettent de réduire nettement les déperditions par ponts thermiques. Une bande d'isolation thermique de 3 cm d'épaisseur insérée entre la tôle et la tête de dalle (variante 2), permet de réduire les déperditions par ponts thermiques de 67 % à $\psi = 0,071 \text{ W/mK}$.

Ponts thermiques au niveau parapets

Trois variantes ont été calculées pour le parapets (Illustration 53).

■ La variante 1 est, pour ainsi dire, la situation de départ: le parapet en briques

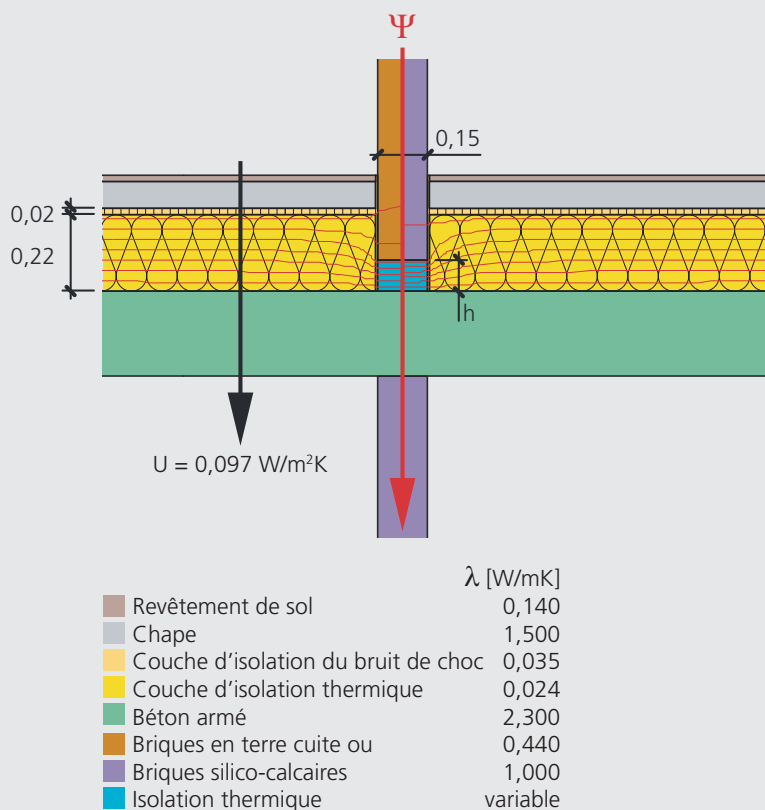
silico-calcaires traverse l'isolation thermique. Il en résulte des déperditions par ponts thermiques élevées de $0,252 \text{ W/mK}$.

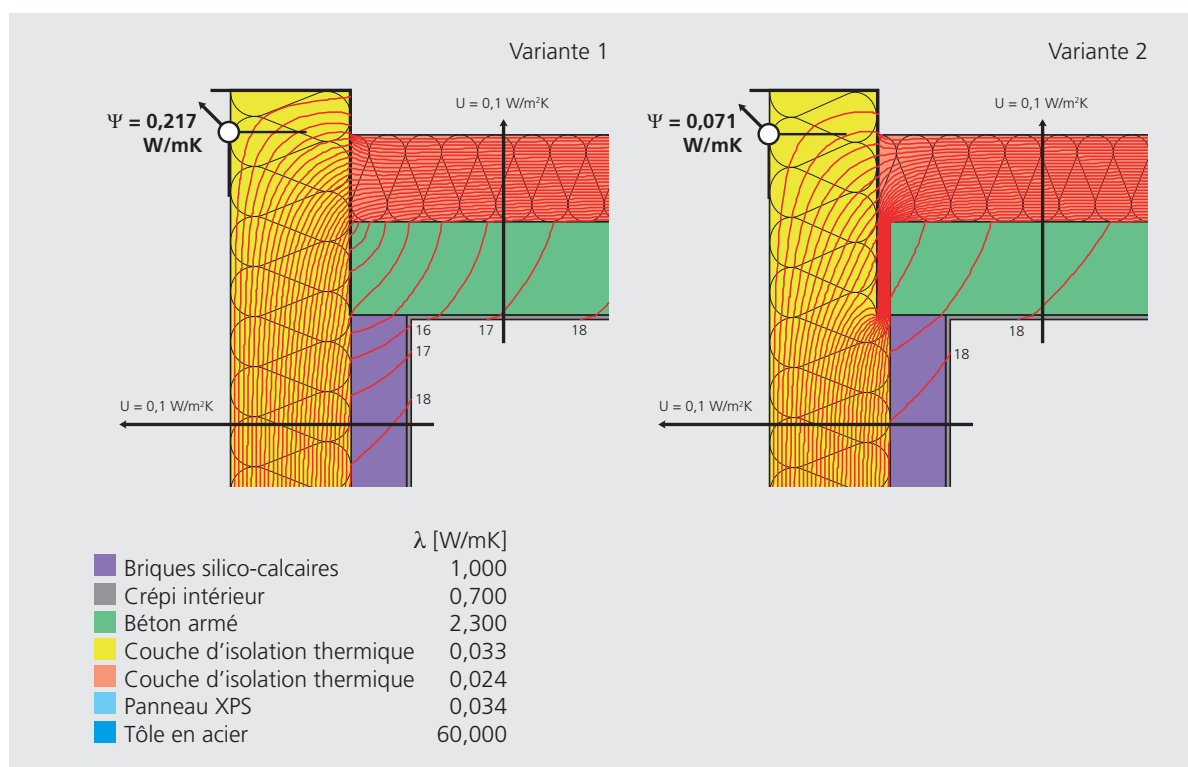
■ La réaction habituelle à ce problème est de renforcer l'isolation du parapet (variante 2). Les déperditions par ponts thermiques peuvent ainsi être réduites à $\psi = 0,092 \text{ W/mK}$. Mais pour des bâtiments Minergie-P, ce niveau est encore bien trop élevé.

■ La solution idéale serait alors de tenter de fermer «directement» le périmètre d'isolation thermique. Pour cela, il faut un parapet en briques avec une séparation thermique contre la dalle, telle que représentée sur la variante 3. Avec un élément

Variante	Briques en terre cuite $\Psi [\text{W/mK}]$	Briques silico-calcaires $\Psi [\text{W/mK}]$
sans isolation thermique:	0,159	0,315
avec isolation thermique:		
$\lambda = 0,200 \text{ W/mK}; h = 90 \text{ mm}$	0,118	0,167
$h = 135 \text{ mm}$	0,104	0,132
$\lambda = 0,160 \text{ W/mK}; h = 90 \text{ mm}$	0,106	0,146
$h = 140 \text{ mm}$	0,088	0,108
$h = 190 \text{ mm}$	0,074	0,084
$\lambda = 0,058 \text{ W/mK}; h = 90 \text{ mm}$	0,055	0,070

Illustr. 51: Lorsque le mur est thermiquement isolé de la dalle en béton armé, la solution optimale est de disposer l'ensemble de la couche d'isolation thermique au-dessus de la dalle. Plus l'élément d'isolation thermique est élevé et sa conductibilité est faible, plus les déperditions par ponts thermiques sont faibles au niveau de ce raccord. Dans la pratique, les critères statiques seront déterminés par l'utilisation possible de ces éléments (p. ex. Thermur, Ytong Thermofuss, Foamglas-Perinsul etc.).





Illustr. 52: Lors de la formation structurale des acrotères de toiture, on utilise souvent des tôles portantes traversant l'isolation thermique qui engendrent des déperditions par ponts thermiques élevées. Le montage de manière isolée sur le plan thermique des tôles portantes (p. ex. avec des matériaux d'isolation thermique de 30 mm d'épaisseur résistant à la pression) permet de réduire de près des 2/3 les déperditions par ponts thermiques.

Perinsul et une armature verticale disposée tous les 1,6 m environ (prise en compte de déperditions par ponts thermiques ponctuels de 0,033 W/K), les déperditions par ponts thermiques peuvent être réduites au total à 0,04 W/m K.

Ponts thermiques au niveau du balcon

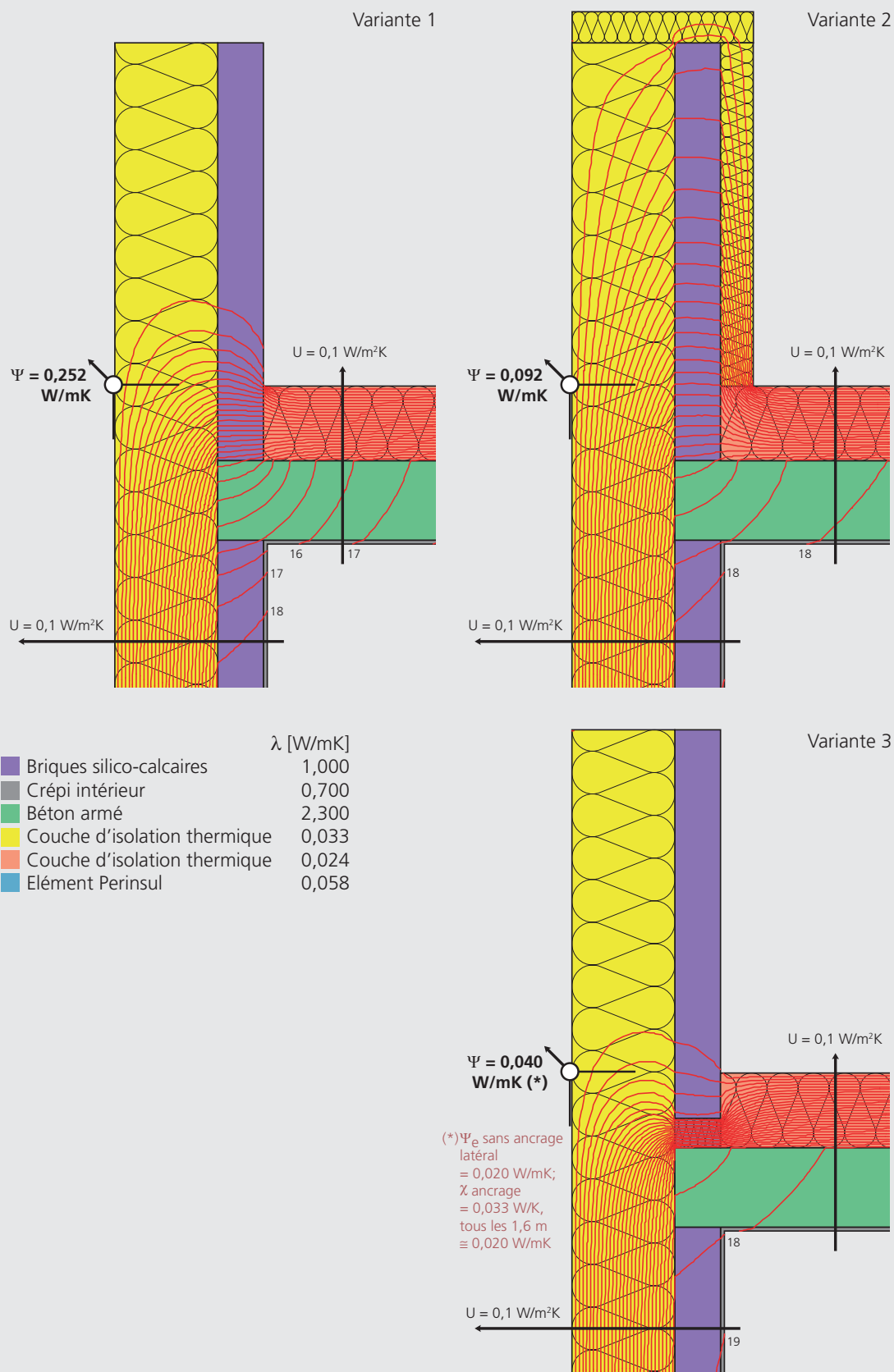
Pour le standard Minergie-P, en principe seuls des balcons avec appuis séparés sont à envisager car ils représentent une solution sans pont thermique. S'ils sont interdits par la loi sur les constructions – par exemple car les balcons dépassent l'alignement des constructions – il reste alors la solution des porte-à-faux. Dans ce cas, la marge d'optimisation se limite à la qualité des consoles isolantes. Il est possible de jouer sur la qualité de l'acier ou d'utiliser des éléments en matière synthétique renforcée de fibres. En général, les consoles isolantes conventionnelles présentent une valeur ψ d'environ 0,3 W/m K. Celle-ci peut être divisée par 3 environ en utilisant des éléments en matière synthétique renforcée de fibres. Conclusion: dans la mesure du possible, les balcons doivent toujours être réalisés avec une structure porteuse séparée.

Ponts thermiques au niveau du montage d'une fenêtre

Mêmes dans les constructions en bois, dans lesquelles il est possible en général d'éviter les ponts thermiques, le montage des fenêtres engendre toujours des déperditions de chaleur supplémentaires. Etant également représentatif des déperditions par ponts thermiques au niveau du montage des fenêtres dans la zone de l'allège ou du seuil et au niveau du linteau (où viennent s'ajouter d'autres facteurs d'influence tels que les logements du store p. ex.), seul le raccord de fenêtre latéral dans le mur extérieur est retenu pour la suite. Pour l'évaluation de l'influence sur les déperditions de chaleur par transmission et sur le respect du standard Minergie-P, on a pris en compte l'effet de deux variantes de montage différentes dans une façade compacte pour une fenêtre bois-métal fictive (Illustration 54).

■ Dans la variante 1, la fenêtre est posée contre la face extérieure du mur et son cadre est recouvert par l'isolation extérieure. Même dans ce cas, les pièces en aluminium qui pénètrent dans l'espace chauffé, engendrent des déperditions par ponts thermiques de 0,086 W/m K.

Illustr. 53: Même un parapet de terrasse isolée engendre des déperditions par ponts thermiques qui sont encore trop élevées pour Minergie-P. La solution optimale est de placer le parapet sur un élément Perinsul et ainsi de l'isoler thermiquement de la dalle en béton armé.

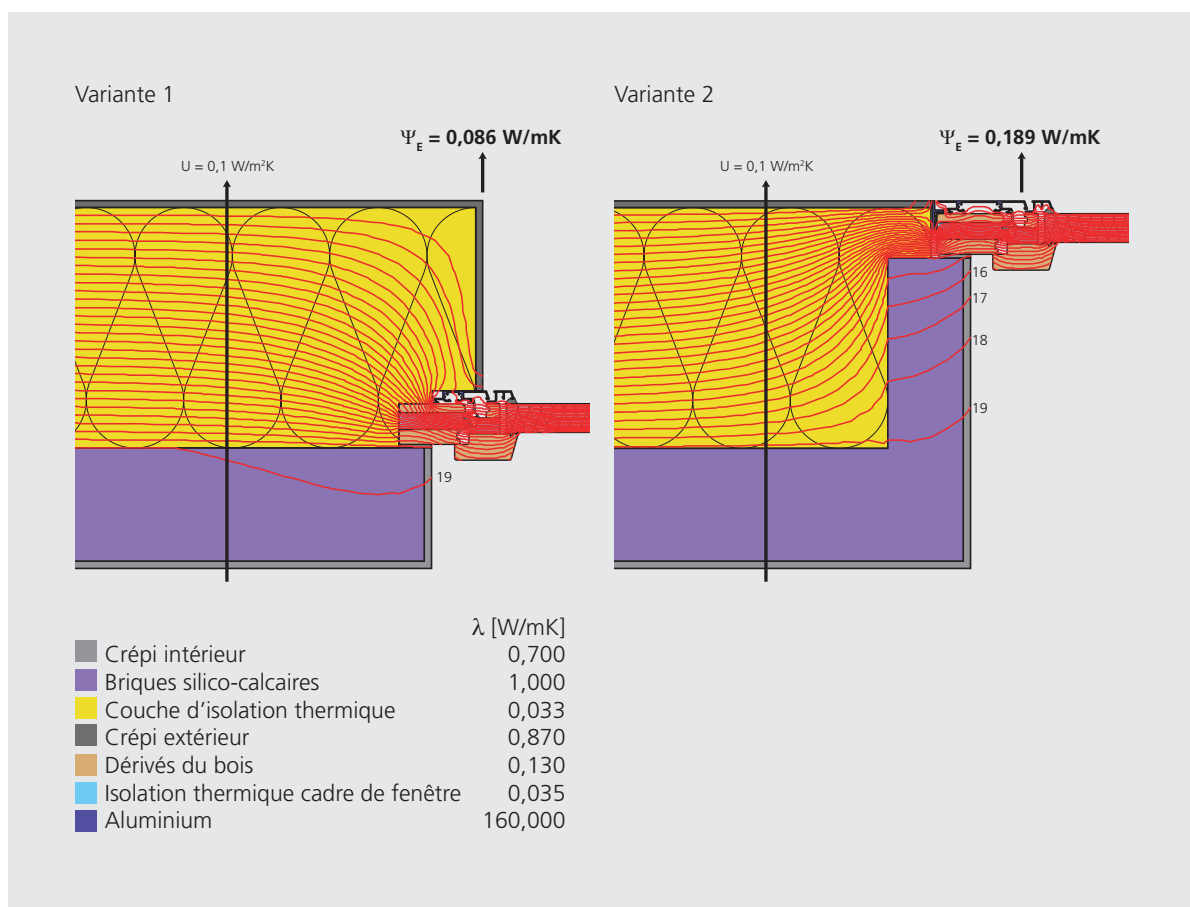


■ La situation est encore pire dans la variante 2. Ici, la fenêtre est affleurée à la surface extérieure. L'aspect est très élégant et à la mode. On obtient cependant une valeur ψ de 0,189 W/mK, soit plus du double par rapport à la variante avec isolation du cadre renforcée! Cela a des répercussions importantes sur la valeur U de la fenêtre en tenant compte du montage et, par conséquent, sur les déperditions de chaleur par transmission de l'ensemble du bâtiment. De plus, ces solutions peuvent également poser problème pour la protection solaire. Si cela peut fonctionner sur la façade nord sans protection solaire extérieure, il risque certainement d'y avoir des problèmes de surchauffe sur les façades ensoleillées. L'illustration 55 montre également l'influence du montage de la fenêtre pour la construction en bois (construction à ossature bois) et la construction massive (isolation thermique extérieure, crépie ou avec revêtement ventilé). L'étude a porté sur la fenêtre (Eiger Isolar) qui a obtenu les meilleurs résultats sur le plan des déperditions par ponts thermiques au niveau du montage. La pose engendre les déperditions de chaleur par les côtés les plus faibles et par conséquent les déperditions par ponts thermiques les plus petites, lorsque la fenêtre est posée au milieu des montants de l'ossature bois on contre la face extérieure des murs extérieurs avec isolation périphérique crépie. ($\psi_E = 0,097$ et 0,049 W/mK). Dans la construction en bois, les déperditions par ponts thermiques sont donc supérieures à celles de la construction massive car le cadre en bois exigé par la statique dans la zone de l'embrasure influence les déperditions par ponts thermiques. Les plus grandes déperditions énergétiques ont été constatées avec la fenêtre affleurant à la surface extérieure, cela ne se répercutant pas uniquement sur la valeur ψ_E en raison du déplacement de la limite chaud froid. Une fenêtre affleurée à la surface intérieure est également moins efficace sur le plan énergétique qu'une fenêtre disposée au «milieu»; ce type d'appui engendre toutefois des déperditions de chaleur plus faibles que la fenêtre affleurée à l'extérieur et les tempé-

ratures de surfaces côté habitat sont également optimales.

Les différences au niveau des déperditions par ponts thermiques pouvant être très importantes suivant la fenêtre, les contraintes constructives, la position de la fenêtre et les détails de construction (embrasure, linteau, allège), il est conseillé de déterminer les déperditions effectives par ponts thermiques à l'aide de calculs pour chaque bâtiment.

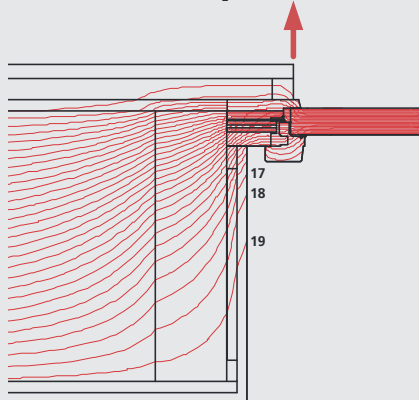
Illustr. 54: Les fenêtres affleurées à la surface extérieure engendrent des déperditions par ponts thermiques environ deux fois supérieures à celles générées au niveau d'une allège optimisée sur le plan énergétique, sur la face interne de la couche d'isolation thermique (voir également les exemples dans l'illustration 55).



Construction en bois

Fenêtre à l'extérieur

$$\Psi_E = 0,151 \text{ W/mK}$$

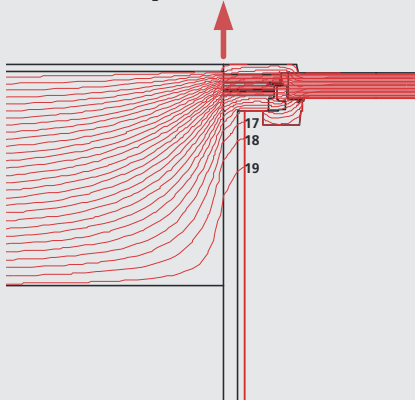


$$q = 13,22 \text{ W/m}$$

Construction massive

Fenêtre à l'extérieur

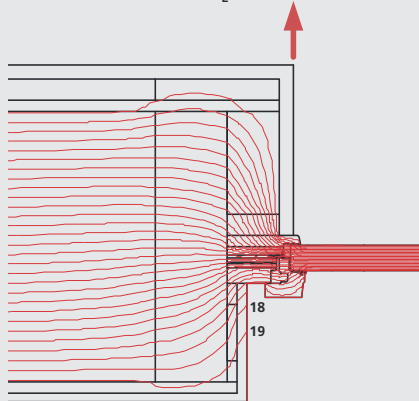
$$\Psi_E = 0,022 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,66 \text{ W/m}$$

Fenêtre dans la zone centrale

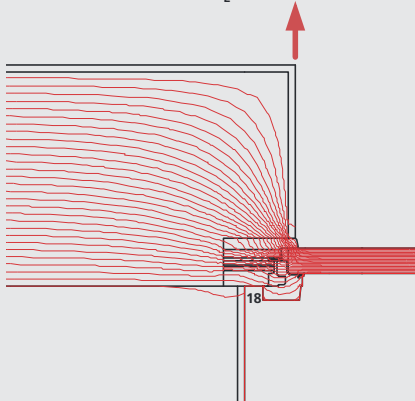
$$\Psi_E = 0,097 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,60 \text{ W/m}$$

Fenêtre dans la zone centrale

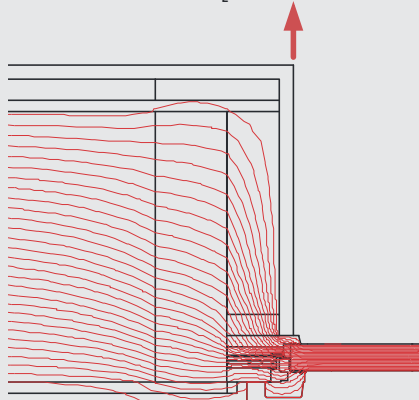
$$\Psi_E = 0,049 \text{ W/mK}$$



$$q = 10,02 \text{ W/m}$$

Fenêtre à l'intérieur

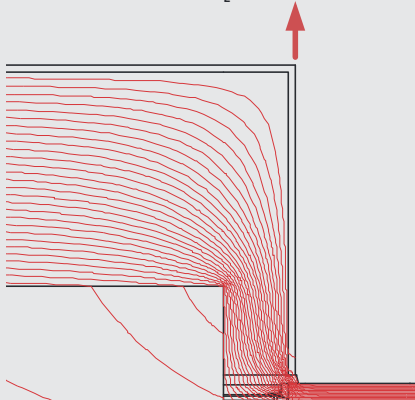
$$\Psi_E = 0,106 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,87 \text{ W/m}$$

Fenêtre à l'intérieur

$$\Psi_E = 0,094 \text{ W/mK}$$



$$q = 11,37 \text{ W/m}$$

Illustr. 55: Déperditions par ponts thermiques au niveau de l'allège latérale et déperditions de chaleur sur tout le périmètre dans des constructions en bois et massives (mur avec $U = 0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; cadre avec $U_f = 0,91 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; verre avec $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ et $\Psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$), pour l'allège affleurée à la surface extérieure, à la surface intérieure ou au milieu. Dans une construction en bois, les déperditions sont supérieures à celles d'une construction massive car le cadre en bois dans la zone de l'embrasure influence les déperditions par ponts thermiques. Dans une construction en bois comme dans une construction massive, le montage des fenêtres au milieu entraîne les plus faibles déperditions énergétiques. Les plus grandes déperditions énergétiques ont été constatées avec la fenêtre affleurée à la surface extérieure, cela ne se répercutant pas forcément sur la valeur Ψ_E en raison de la modification des niveaux de référence. q = flux de chaleur supérieur au détail calculé.

La rénovation selon Minergie-P

On obtient incontestablement de meilleurs effets avec les mesures de rénovation thermiques selon Minergie-P qu'avec les techniques actuelles en vigueur pour les constructions neuves. Avant l'adaptation des exigences (SIA 380/1, Minergie) début 2009, il était très difficile de satisfaire les dispositions des constructions neuves pour Minergie-P dans le cadre des rénovations (besoins de chaleur pour le chauffage et étanchéité à l'air). Les tentatives visant à les atteindre étaient donc rares. Il existe encore peu d'expérience avec les nouvelles exigences, mais il faut admettre qu'il est désormais considérablement plus aisé de rénover un bâtiment selon le standard Minergie-P. Par conséquent, nous avons bon espoir que l'expérience et le savoir-faire progressent grâce aux nombreux exemples de rénovation.

Des exigences plus modérées

En comparaison avec les exigences Minergie-P imposées aux nouvelles constructions, les exigences relatives à l'exécution de l'enveloppe thermique du bâtiment dans le cadre de rénovation sont un peu plus modérées:

- Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h doivent être réduits de 20 % par rapport à la valeur limite prescrite par la norme SIA 380/1 (2009) $Q_{h,li}$ (pour les constructions neuves $Q_h \leq 0,6 \cdot Q_{h,li}$).

- L'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment à prouver à l'aide de mesures (test de Blower-door) doit atteindre une valeur $n_{50,st}$ inférieure à 1,5 (au lieu de $n_{50,st} \leq 0,6$ pour les constructions neuves).

Le succès n'est possible qu'au prix d'une stratégie cohérente

En dépit d'exigences légèrement inférieures à celles imposées aux constructions neuves, il convient de mettre en œuvre des stratégies de rénovation extrêmement logiques pour satisfaire les contraintes toujours élevées des rénovations Minergie-P. Des éléments de construction difficiles à améliorer tels que

des planchers contre terre ou l'extérieur, les murs contre terre et les déperditions de chaleur élevées au niveau des raccords peuvent toujours être des obstacles au respect de Minergie-P.

Considérations conceptuelles

Les principales orientations sont prises au moment des premières décisions conceptuelles:

- Délimitation de l'enveloppe thermique du bâtiment, quelles affectations auront les locaux à l'avenir (chauffés, non chauffés, surface de référence énergétique)?

- Densification grâce aux surélévations, annexes ou agrandissement de sous-sol.

- Choix des fenêtres et de la surface d'appui. Du fait de l'épaisseur des nouvelles couches d'isolation, il est souvent conseillé de ne pas poser les nouvelles fenêtres sur l'appui existant mais d'avancer vers l'extérieur.

- Une rénovation complète vaut-elle la peine ou serait-il plus efficace de déconstruire et de reconstruire?

Éléments de construction

En ce qui concerne les différents éléments de construction et leur capacité d'isolation thermique, il convient d'intégrer dans l'étude les couches de construction existantes et leur état. Par rapport aux éléments de construction nouveaux, il n'y a pas d'autres critères essentiels dont il faut tenir compte.

Raccords aux autres éléments

La marge de manœuvre pour éviter les ponts thermiques est plus limitée qu'avec des solutions de construction neuve. Leur diminution passe souvent par des interventions de plus grande ampleur:

- Évacuation de balcons existants ou création de nouveaux balcons avec structures porteuses indépendantes, isolées thermiquement ou

- Intégration du balcon dans l'enveloppe thermique du bâtiment (agrandissement de l'espace habitable) et création de balcons neufs.

- Intégration des loggias dans l'enveloppe thermique du bâtiment.

■ Évacuation d'éléments de construction existant en porte-à-faux tels que les avant-toits etc. et création éventuellement de nouveaux éléments, thermiquement isolés.

Étanchéité à l'air

Des éléments de construction existants, non étanches à l'air (p.ex. toits en pente avec lambris intérieur et couches d'étanchéité à l'air défectueuses) peuvent remettre en question la conformité au standard Minergie-P. Si les éléments de construction épais et opaques sont raccordés de manière étanche à des fenêtres et des portes épaisses et si les installations traversant l'isolation thermique sont mises en œuvre de manière étanche, les résultats du test Blower-door devraient être satisfaisants et le standard Minergie-P être atteint.

Ponts thermiques dans les assainissements énergétiques

Ce qui est considéré comme relativement difficile avec les constructions neuves est souvent impossible à réaliser dans le cadre des assainissements techniques de bâtiments existants: il est parfois impossible d'éviter ou de réduire les points thermiques à un niveau acceptable. Il est notamment quasiment impossible d'éviter que des éléments de construction porteurs au niveau du socle ou des murs intérieurs ne traversent la couche d'isolation thermique.

L'exemple proposé sur les illustrations 56 à 58 montre clairement l'orientation à prendre dans le cadre de ces assainissements thermiques: le bâtiment existant «revêt» une nouvelle enveloppe hautement isolée; le respect du standard Minergie-P est inenvisageable avec une isolation thermique intérieure.

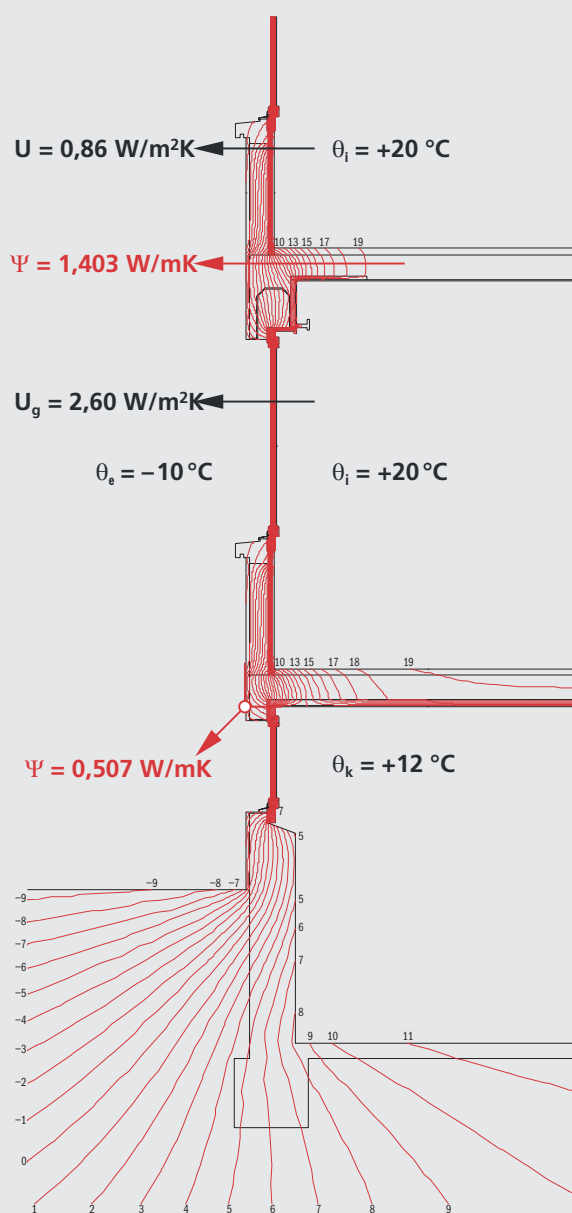
■ Le point de départ d'une démarche de rénovation selon le standard Minergie-P est une enveloppe de bâtiment existante avec une maçonnerie de boutisses et de panneaux sous crépi, de 30 cm d'épaisseur (Illustration 56). Celle-ci est également représentative d'autres constructions avec des valeurs U comprises entre 0,6 et 1,0 W/m²K, comme p.ex. des murs extérieurs avec isolations thermiques intérieures de faible épaisseur et murs de parement. Les

déperditions énergétiques et la proportion de ponts thermiques sur une façade d'un étage et demi, avec et sans fenêtres, sont représentées (sans déperditions de chaleur par le plancher contre sous-sol non chauffé). Avant la rénovation, les déperditions énergétiques à travers la façade avec fenêtres s'élèvent à 278,5 W/m, la part de ponts thermiques (socle, appui de dalle/linteau, montage des fenêtres) étant de 23,8 %. Sur la façade sans fenêtre, les déperditions énergétiques sont de 171,6 W/m, dont 11,5 % attribuables aux ponts thermiques (socle, appui de dalle).

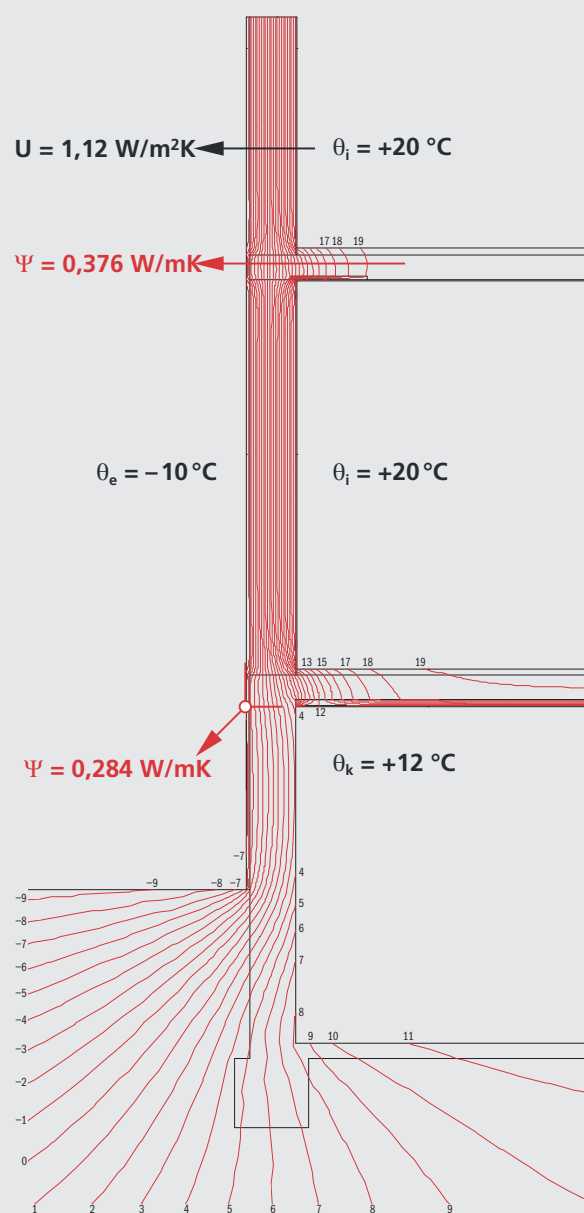
■ L'illustration 57 montre les effets d'une rénovation avec isolation thermique extérieure (crépie ou avec revêtement ventilé) selon le standard Minergie-P. Elle représente la solution la plus efficace, voire même l'unique solution, permettant d'améliorer considérablement un bâtiment existant sur le plan thermique, technique et énergétique. Par rapport à la situation réelle, les déperditions de chaleur peuvent être réduites de 76,7 % à 64,8 W/m (façade avec fenêtres) et de 89,6 % à 17,9 W/m (façade sans fenêtre). L'influence des ponts thermiques de 21,8 à 34,4 % est très importante mais seuls le socle et le montage des fenêtres sont significatifs.

■ Dans le contexte de Minergie-P, personne n'envisagera sérieusement de rénover un bâtiment avec une isolation thermique intérieure (p.ex. panneaux isolant sous vide) (Illustration 58). Du fait de l'influence des ponts thermiques (socle, appui de dalle, linteau) de 62,3 à 73,4 %, le succès d'une amélioration de la protection thermique reste limité. Dans le cas de la façade avec fenêtres, les déperditions de chaleur peuvent certes être réduites de 60,1 % à 111,2 W/m et dans celui de la façade sans fenêtre de 69,3 % à 52,7 W/m. Malgré des valeurs caractéristiques d'éléments de construction similaires, les déperditions de chaleur sont toutefois supérieures de 71,6 à 194,4 % par rapport à l'enveloppe de bâtiment isolée par l'extérieur et ne permettent certainement pas d'atteindre le standard Minergie-P.

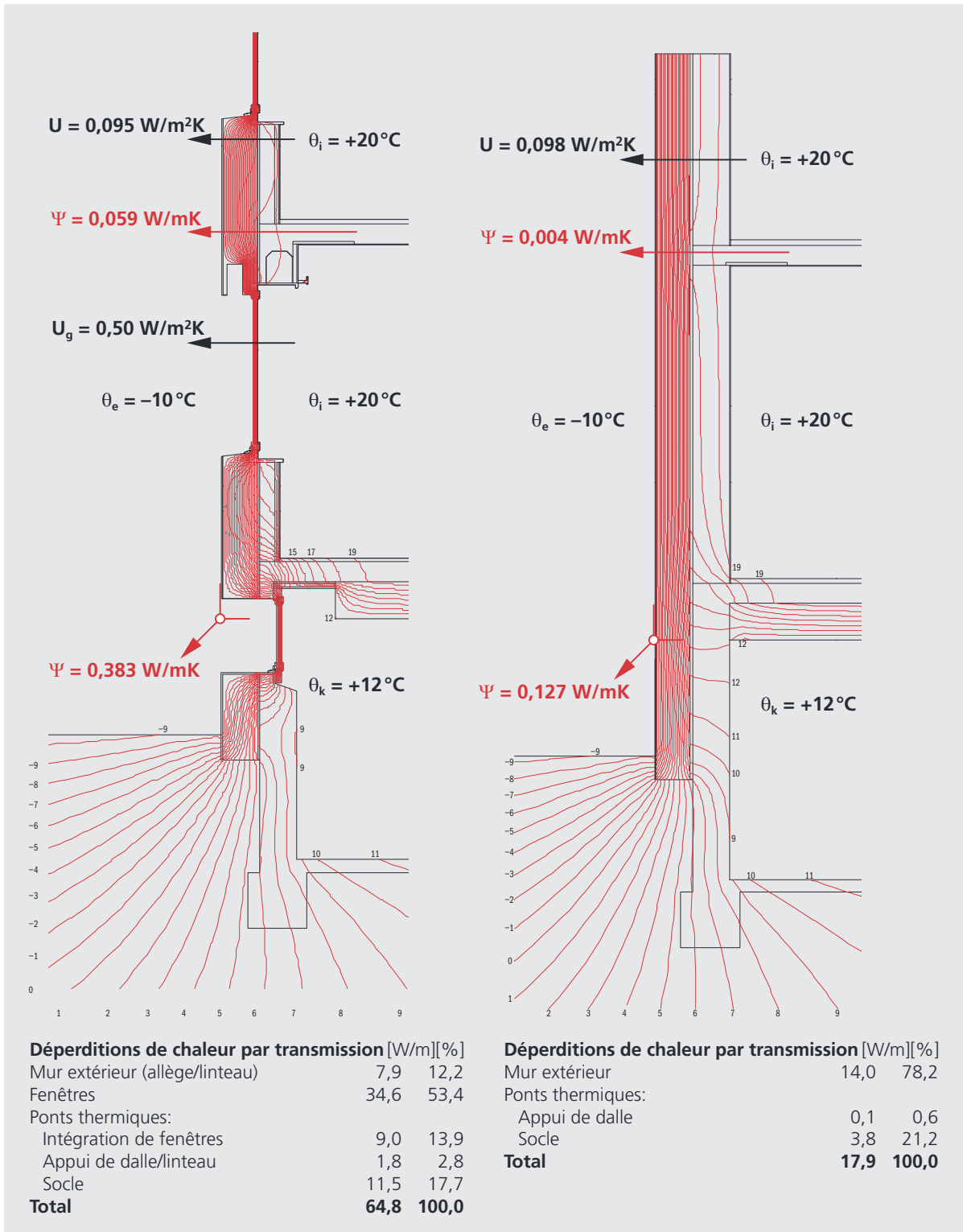
Illustr. 56: Enveloppe de bâtiment existante avec une maçonnerie de boudoirs et de pannes crépées, de 30 cm d'épaisseur comme point de départ d'une démarche d'assainissement selon le standard Minergie-P. Dans des déperditions énergétiques de 278,5 W/m à travers la façade avec les fenêtres (1,5 étage, sans plancher au-dessus du sous-sol), les ponts thermiques (socle, appui de dalle/linteau, montage) représentent une part de 23,8 %. Sur la façade sans fenêtre, les ponts thermiques (socle, appui de dalle) contribuent à hauteur de 11,5 % aux déperditions énergétiques de 171,6 W/m.



Déperditions de chaleur par transmission[W/m][%]		
Mur extérieur (allège/linteau)	65,6	23,6
Fenêtres	146,5	52,6
Ponts thermiques:		
Intégration de fenêtres	9,0	3,2
Appui de dalle/linteau	42,1	15,1
Socle	15,3	5,5
Total	278,5	100,0

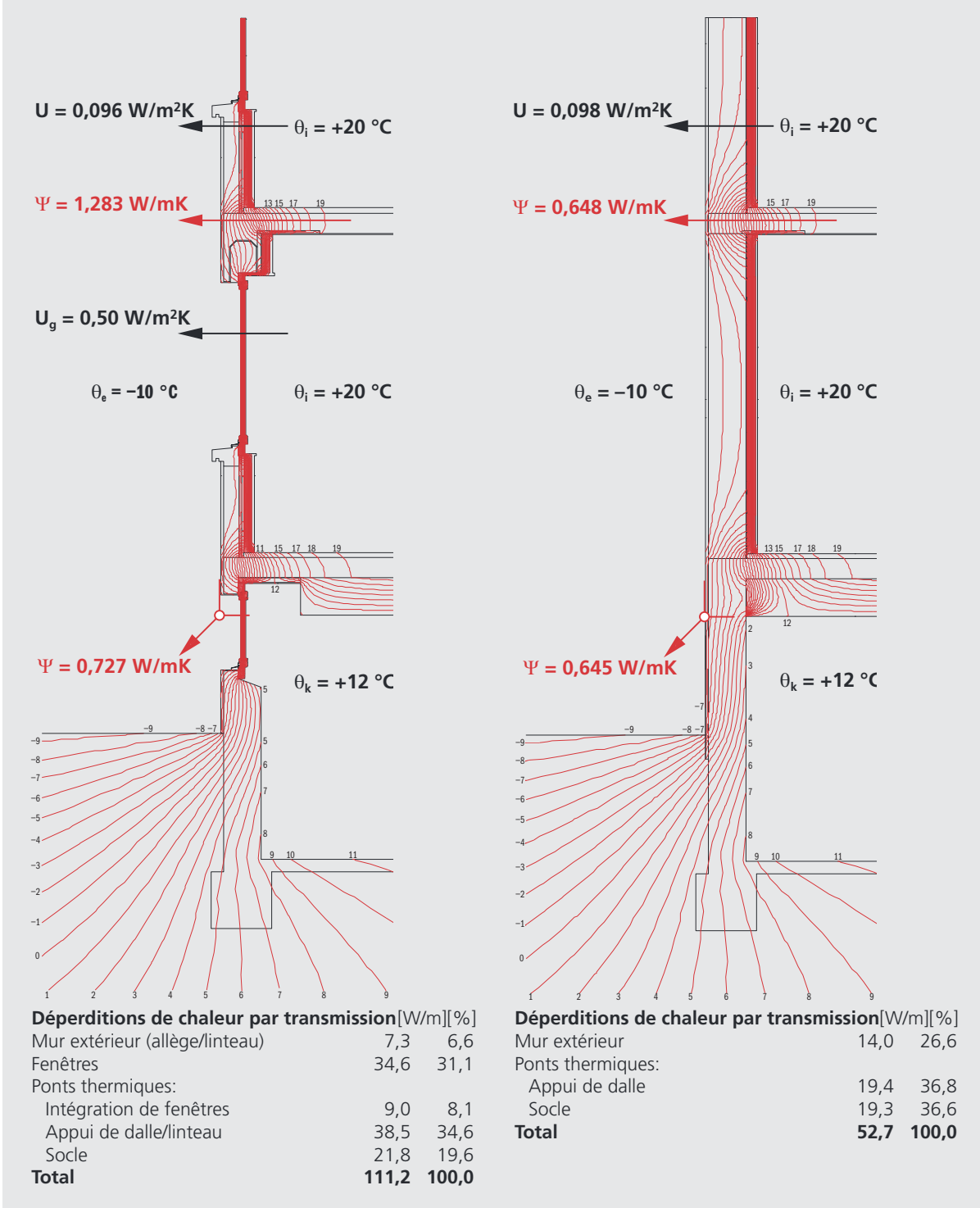


Déperditions de chaleur par transmission[W/m][%]		
Mur extérieur	151,8	88,5
Ponts thermiques:		
Appui de dalle	11,3	6,5
Socle	8,5	5,0
Total	171,6	100,0



Illustr. 57: Pour les assainissements selon le standard Minergie-P, l'isolation thermique extérieure (crépie ou avec revêtement ventilé) est la solution la plus efficace. Par rapport à la situation réelle (illustr. 56), les déperditions de chaleur peuvent être réduites de 76,7 % à 64,8 W/m (façade avec fenêtres) et de 89,6 % à 17,9 W/m (façade sans fenêtre). L'influence des ponts thermiques de 21,8 % à 34,4 % est très importante mais seuls le socle et le montage des fenêtres sont significatifs.

Illustr. 58: Dans le contexte de Minergie-P, personne n'envisagera sérieusement d'assainir un bâtiment avec une isolation thermique intérieure (p. ex. avec des panneaux sous vide comme dans cet exemple). Du fait de l'influence des ponts thermiques (socle, appui de dalle, linteau) de 62,3 à 73,4 %, le succès d'une amélioration de la protection thermique reste limité. Dans le cas de la façade avec fenêtres, les déperditions de chaleur peuvent certes être réduites de 60 % à 111,2 W/m et dans celui de la façade sans fenêtre de 69,3 % à 52,7 W/m. Malgré des valeurs caractéristiques d'éléments de construction similaires, les déperditions de chaleur sont toutefois supérieures de 71,6 à 194,4 % par rapport à l'enveloppe de bâtiment isolée par l'extérieur (illustr. 57).



Exemple de bâtiment

Appuyons-nous sur l'exemple d'une habitation collective composée de trois maisons contigües (Illustration 59) pour mettre en avant les mesures qui permettent à une assainissement rénovation technique d'atteindre le standard Minergie-P. Différents paramètres doivent également être étudiés, notamment l'influence de la capacité (petit ou grand habitat collectif) ainsi que l'emplacement du bâtiment. L'habitation collective existante a été construite à Lucerne en 1946. Les 24 logements sont chauffés au gaz, l'indice de dépense d'énergie pour le chauffage s'élève en moyenne à 150 kWh/m² environ. L'enveloppe du bâtiment est insuffisante sur le plan thermique et technique, elle présente les éléments de construction significatifs suivants:

- Mur extérieur en maçonnerie de boudoirs et de pannes crépées des deux côtés, d'une valeur U d'environ 1,0 W/m²K.
- Plancher sur sous-sol avec revêtement très peu isolé (matelas en granulés de liège etc.) et valeur U d'environ 1,6 W/m²K. La cage d'escalier n'est pas délimitée thermiquement par rapport au sous-sol; une valeur U de 2,5 W/m²K a été prise en compte pour cette «surface d'élément de construction» (par rapport au climat extérieur).
- Plancher contre les combles d'une valeur U d'environ 1,85 W/m²K.
- Les fenêtres sont des fenêtres en bois avec double vitrage. La valeur U s'élève en moyenne à environ 2,35 W/m²K et la valeur g prise en compte est de 0,62.
- Une valeur U de 2,5 W/m²K a été utilisée pour les portes d'entrée et les trappes d'accès aux combles.

Les déperditions par ponts thermiques prises en compte sont celles figurant sur l'illustration 60. L'ensemble du bâtiment pouvant être qualifié de «pont thermique» dans la situation avant rénovation des déperditions par ponts thermiques supplémentaires et significatifs sont engendrées uniquement au niveau des balcons et des appuis de fenêtre. En raison des déperditions par ponts thermiques négatives au niveau du socle et de raccord mur extérieur/plancher contre combles, la part des

ponts thermiques par rapport aux déperditions de chaleur par transmission n'est que de 0,4 %.

Besoins de chaleur pour le chauffage avant assainissement

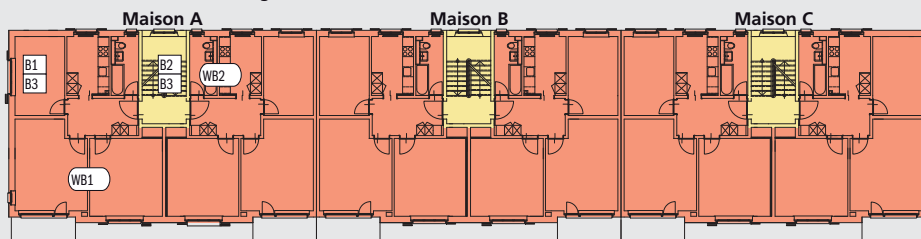
Selon les calculs, l'enveloppe du bâtiment existante conduit à une période de chauffage de 10 mois; seuls les mois de juillet et d'août sont dépourvus de chauffage (Illustration 61). Les besoins de chaleur existants pour le chauffage $Q_{h,i}$ de 124 kWh/m² sont 5 fois supérieurs à la valeur limite admise pour un assainissement selon Minergie-P ($0,8 \cdot Q_{h,i}$) de 25 kWh/m².

Concept d'assainissement

Les balcons sont retirés et remplacés par une nouvelle construction de balcon auto-portante (Illustration 62), qui permet ainsi de bénéficier de balcons plus grands. Ces derniers n'engendrent plus de déperditions par ponts thermiques mais augmentent l'ombrage des fenêtres correspondantes en raison de profondeurs plus importantes. Sans nouveaux balcons, il faudrait accepter des déperditions par ponts thermiques élevées de 0,56 W/mK et les balcons seraient encore moins profonds du fait de l'isolation périphérique supplémentaire.

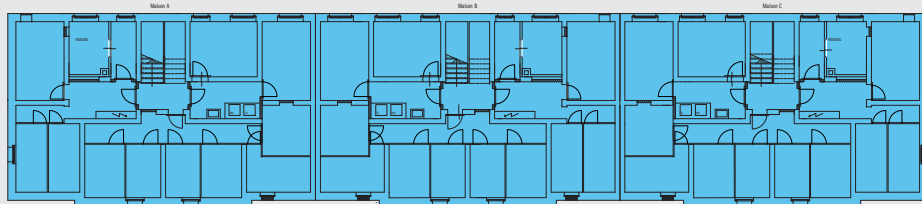
Les nouvelles fenêtres sont fixées sur la face extérieure du mur en maçonnerie et les cadres recouverts par l'isolation (façade compacte ou façade ventilée). La délimitation entre le rez-de-chaussée et le sous-sol intervient, comme dans la situation avant rénovation, par la prise en compte de la surface au sol de la cage d'escalier avec une valeur U de 2,5 W/m²K (contre l'extérieur). Les ponts thermiques pris en compte pour la rénovation sont mis en avant sur l'illustration 60 et les éléments de construction concernés présentent désormais une meilleure protection thermique:

- Mur extérieur isolé par l'extérieur, d'une valeur U de 0,14 W/m²K.
- Plancher sur sous-sol avec couche d'isolation thermique contre plafond de la cave, valeur U = 0,2 W/m²K.
- Plancher contre combles d'une valeur U de 0,15 W/m²K.

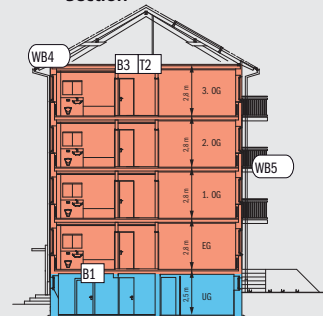
Rez-de-chaussée, 1^{er} au 3^e étage

Surfaces des étages (A _g)	2072 m ²	Ponts thermiques	
– Plancher contre sous-sol (B1)	477 m ²	– Murs intérieurs continus (WB1)	146 m
– Surface de circulation (B2)	41 m ²	– Murs intérieurs rez-de-chaussée (WB2)	11 m
– Plafond contre combles (B3)	512 m ²		
– Clapet contre combles (T2)	6 m ²		

Sous-sol



Section



Volume du bâtiment	
– chauffé	
– non chauffé	
Ponts thermiques	
– Socle (WB3)	121 m
– Appui de dalle (WB4)	300 m
– Mur extérieur/plafond combles (WB5)	121 m
– Balcons (WB6)	63 m

Façade nord angle d'ombrage horizon nord = 30 °



Murs contre l'extérieur (B4)	461 m ²
Fenêtres	
– Fenêtre F1 (1,3 · 1,4 · 40)	73 m ²
– Fenêtre F2 (0,6 · 1,4 · 24)	20 m ²
– Fenêtre F3 (1,2 · 1,4 · 9)	15 m ²
Porte T1 (1,2 · 2,2 · 3)	8 m ²

Façade sud Angle d'ombrage balcon sud = 30 °

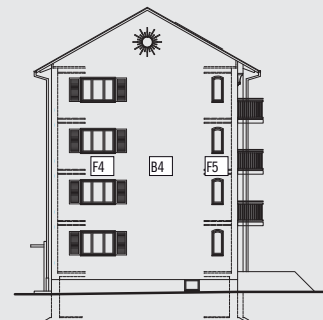


Murs contre l'extérieur (B4)	432 m ²
Fenêtres	
– Fenêtre F6 (1,9 · 1,4 · 24)	64 m ²
– Fenêtre F7 (1,8 · 1,4 · 24)	61 m ² (Angle des ombres projetées Balcon = 45 °)
– Fenêtre F8 (0,8 · 2,1 · 24)	40 m ² (Angle des ombres projetées Balcon = 41 °)

Ponts thermiques des fenêtres (somme sur toutes les façades)	
– Allège (WB7)	206 m
– Linteau (WB8)	206 m
– Embrasure (WB9)	417 m

Façade ouest

Angle d'ombrage horizon ouest = 20 °



Murs contre l'extérieur (B4)	102 m ²
Fenêtres	
– Fenêtre F4 (1,9 · 1,4 · 4)	11 m ²
– Fenêtre F5 (0,7 · 1,4 · 4)	4 m ²

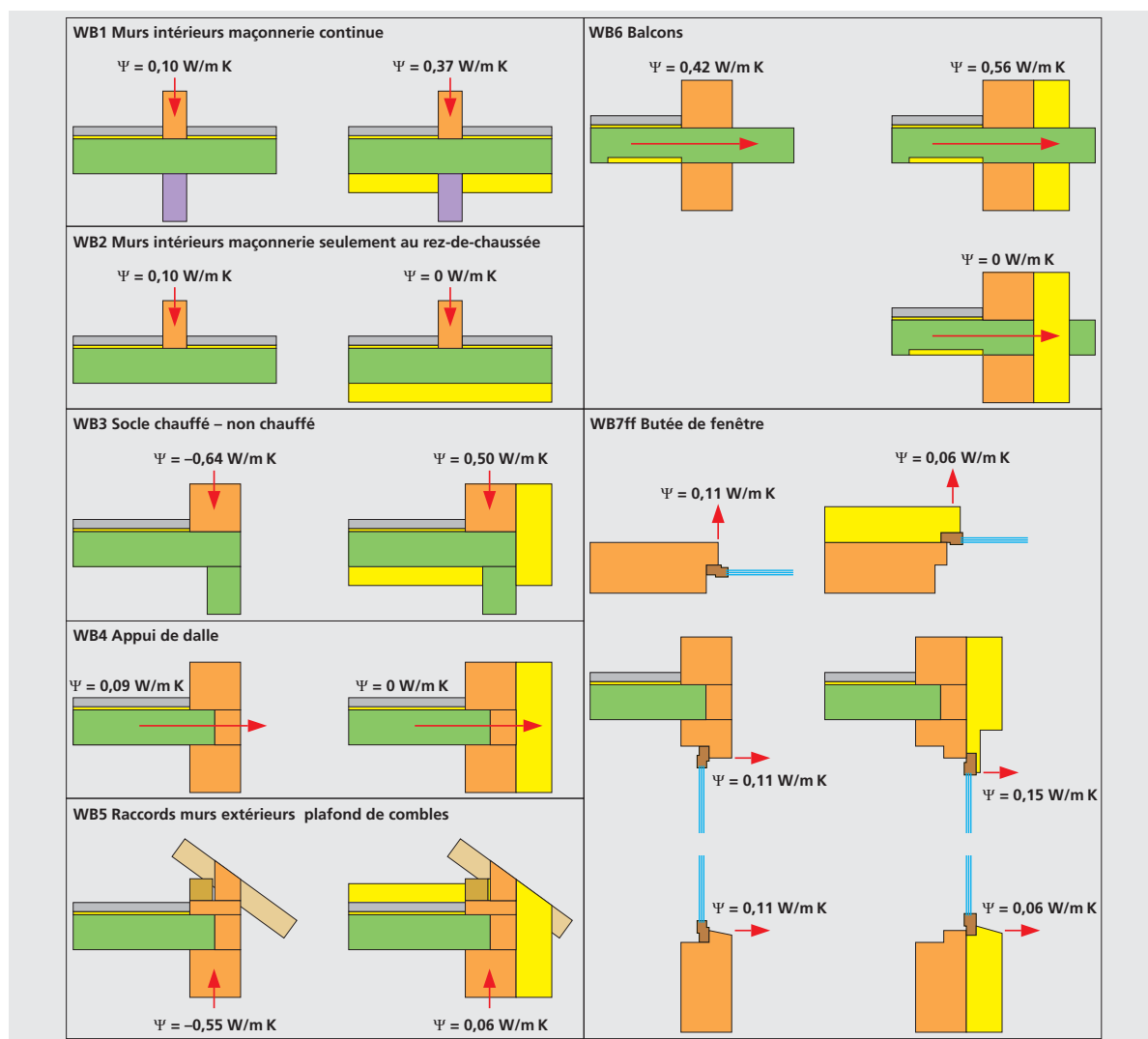
Façade est

Angle d'ombrage horizon est = 20 °



Murs contre l'extérieur (B4)	102 m ²
Fenêtres	
– Fenêtre F4 (1,9 · 1,4 · 4)	11 m ²
– Fenêtre F5 (0,7 · 1,4 · 4)	4 m ²

Illustr. 59: Immeuble collectif classique avec maçonnerie de boutisses et de panneresses et fenêtres en bois à double vitrage. Pas de protection thermique particulière par rapport aux pièces de la cave et aux combles. Si d'autres conditions sont également compatibles (p.ex. structure du logement, protection sonore, etc.), il serait certainement judicieux de procéder à l'amélioration de ce bâtiment sur le plan thermique et technique, avec pour cible le standard Minergie-P.



Illustr. 60: Récapitulatif des déperditions par ponts thermiques prises en compte dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage (norme SIA 380/1). A gauche, le détail de construction et les déperditions par ponts thermiques avant rénovation, à droite la variante pour la rénovation thermique et technique.

■ Les nouvelles fenêtres à triple vitrage ($U_g = 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $\Psi_g = 0,05 \text{ W/m K}$, $g = 0,48$) présentent en moyenne une valeur U_w d'environ $0,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

■ Une valeur U de $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ a été utilisée pour les portes d'entrée et les trappes d'accès aux combles.

Besoins de chaleur pour le chauffage après rénovation

La période de chauffage du bâtiment rénové sur le plan thermique n'est plus désormais que de 7 mois (Illustration 63). Avec 25 kWh/m^2 , les besoins de chaleur pour le chauffage existants respectent désormais exactement la valeur limite requise pour Minergie-P ($0,8 \cdot Q_{h,li} = 25 \text{ kWh/m}^2$). Les besoins en chaleur pour le chauffage ont pu être divisés par 5 par rapport à la situation avant rénovation.

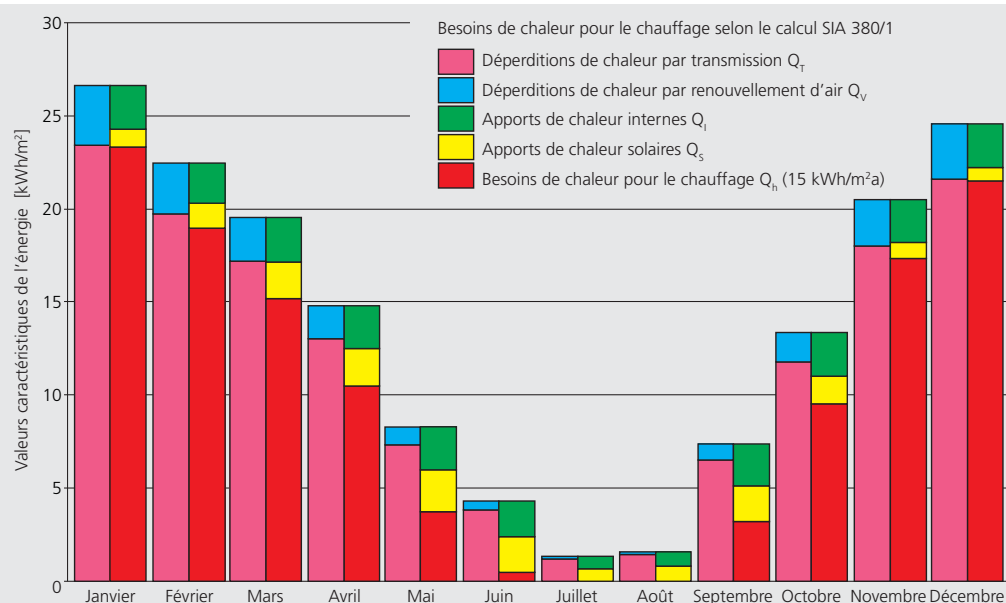
Influence de la géométrie des fenêtres et des ponts thermiques au niveau du balcon

L'illustration 64 montre les dépendances. Les fenêtres à trois battants ont été conservées dans la «solution standard». Le standard Minergie-P peut être atteint avec un balcon aux appuis indépendants du bâtiment principal lorsque le mur extérieur présente une valeur de $0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. L'action des ponts thermiques des balcons liés au bâtiment devrait être compensée par une valeur U de $0,11 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ au niveau du mur extérieur. Le passage de fenêtres de trois à deux battants admet une légère dégradation des valeurs U de $0,155 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (balcon séparé) et de $0,125 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (balcon continu) au niveau du mur extérieur.

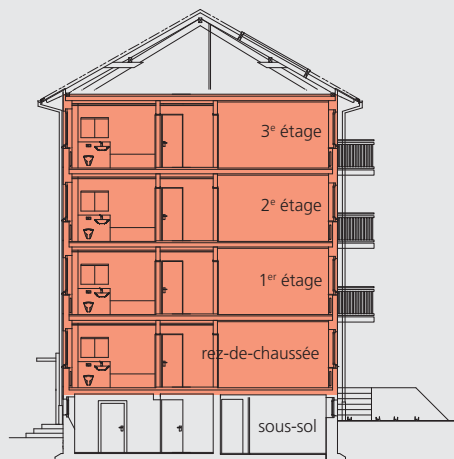
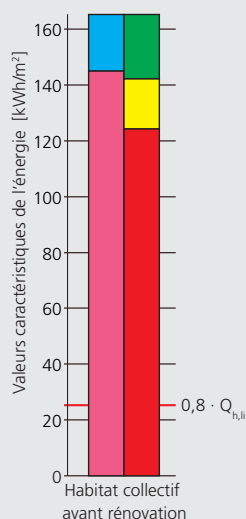
Influence de la compacité

En s'appuyant sur la variante de base (géométrie de fenêtres existante), l'illustration 65 montre les effets d'un bâtiment plus petit. Par rapport au bâtiment effectif en trois parties, la réduction à deux parties n'a guère d'effets. La valeur limite à respecter augmente du fait d'un facteur d'enveloppe légèrement moins bon (A_{th}/A_E) de 25 à 26 kWh/m². Cette valeur limite peut être respectée avec la même construction que pour une maison plus grande; des valeurs U de 0,14 W/m²K (balcon séparé) et de 0,11 W/m²K (balcon continu) sont nécessaires pour le mur extérieur. Même la réduction à une seule partie n'exige qu'une légère amélioration des valeurs U du mur extérieur pour respecter la nou-

velle valeur limite de 28 kWh/m²; elles doivent être de 0,13 W/m²K (balcon séparé) et de 0,105 W/m²K (balcon continu). On note une évolution sensible avec la maison en une partie lorsqu'elle perd encore un étage. Les déperditions de chaleur contre le sous-sol (plafond, cage d'escalier et ponts thermiques) et les combles ne se répartissent plus désormais que sur trois étages au lieu de quatre. Afin que la valeur limite Minergie-P désormais de 30 kWh/m² puisse être atteinte, les valeurs U du mur extérieur doivent être de 0,08 W/m²K (balcon séparé) et de 0,06 W/m²K (balcon continu). Cela ne peut pas être garanti avec certitude et les déperditions de chaleur accrues ne peuvent pas être uniquement compensées par de meilleures va-

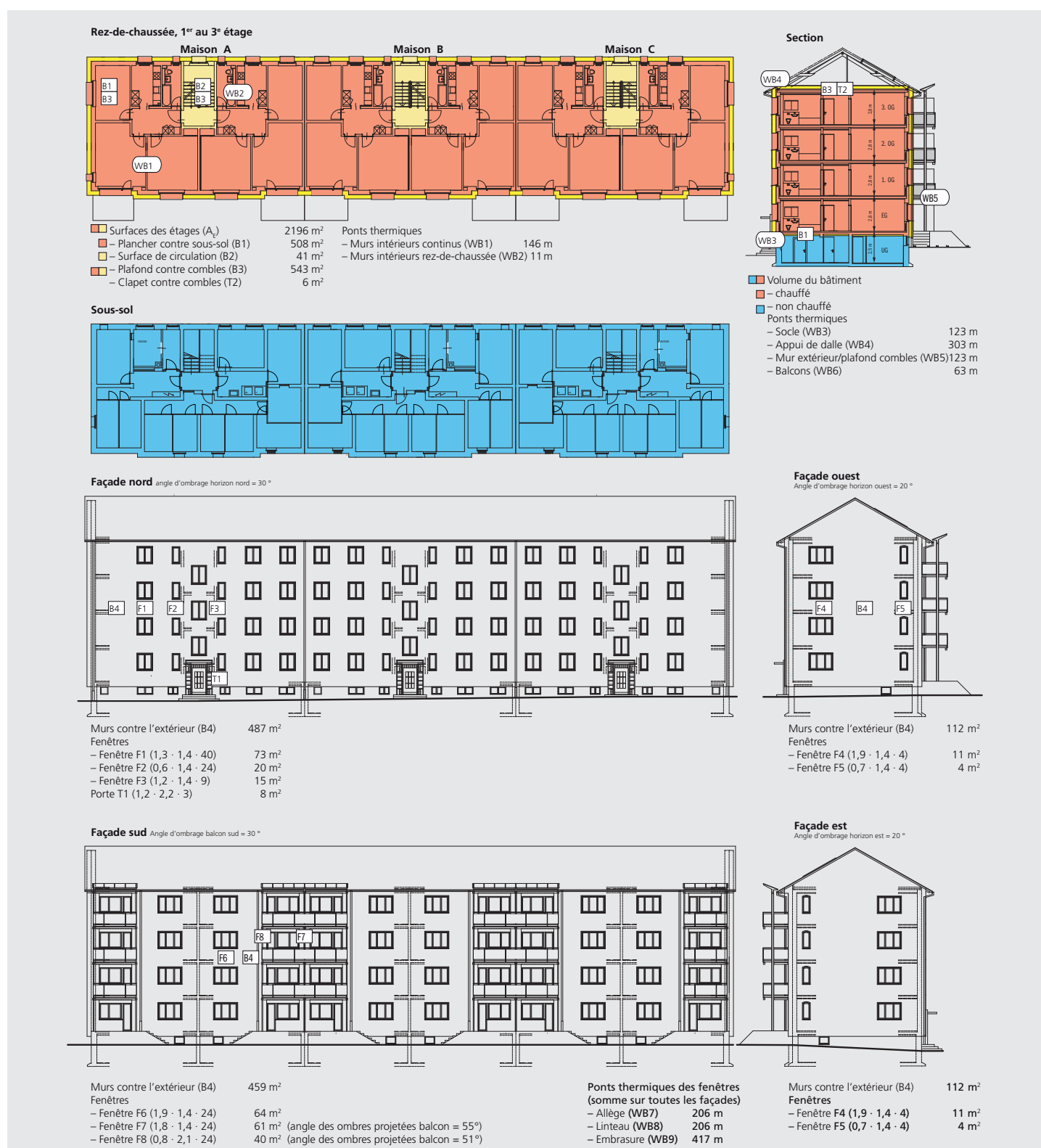


Illustr. 61: Le bâtiment existant présente une période de chauffage de 10 mois; seuls les mois de juillet et d'août sont dépourvus de chauffage. Les besoins de chaleur existants pour le chauffage Q_h de 124 kWh/m² sont 5 fois supérieurs à la valeur limite admise pour une rénovation selon Minergie-P de 25 kWh/m².



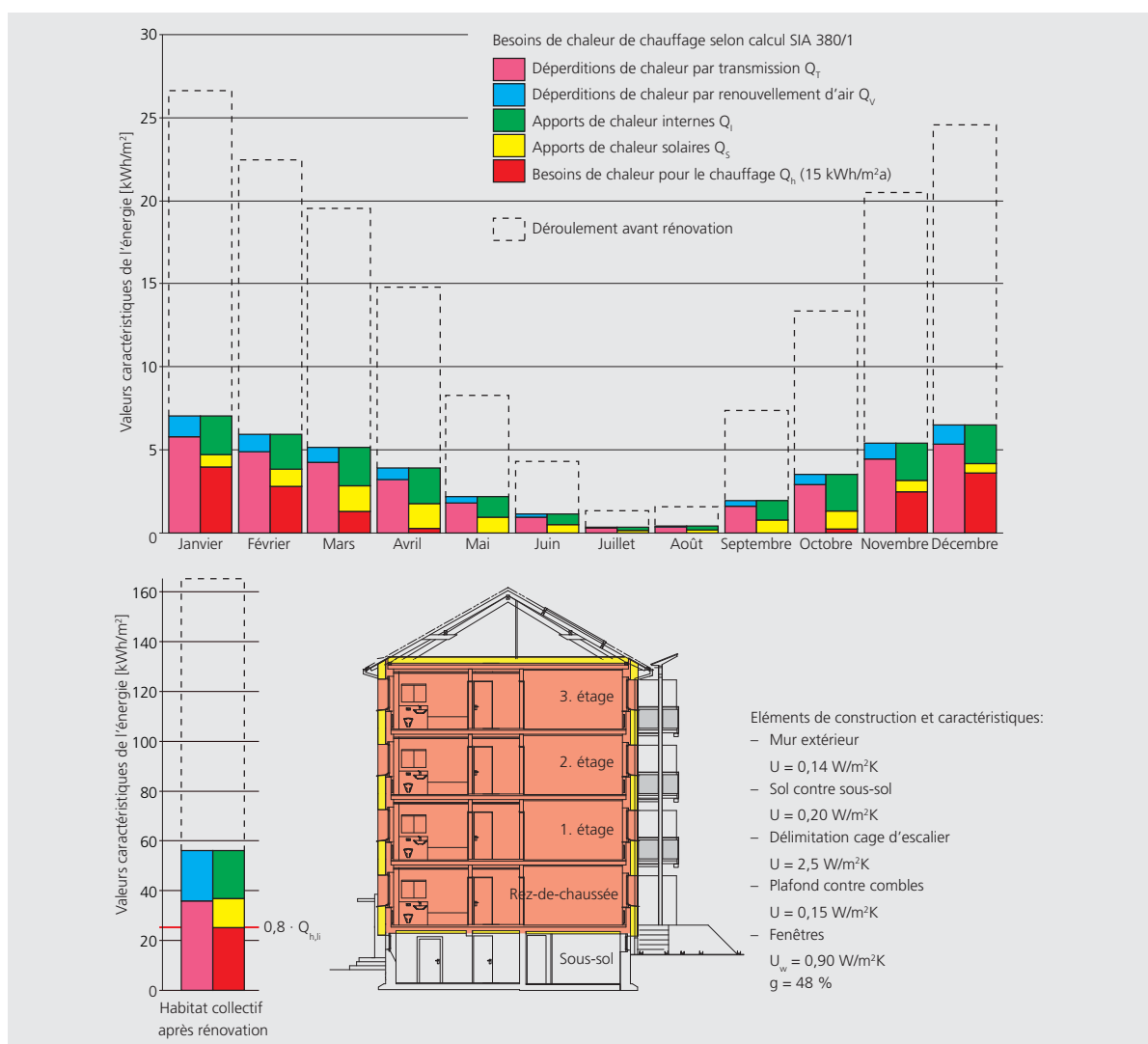
Éléments de construction et valeurs caractéristiques:

- Mur extérieur
 $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Plancher contre sous-sol
 $U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Délimitation cage d'escalier
 $U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Plafond contre combles
 $U = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres
 $U_w = 2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $g = 62 \%$

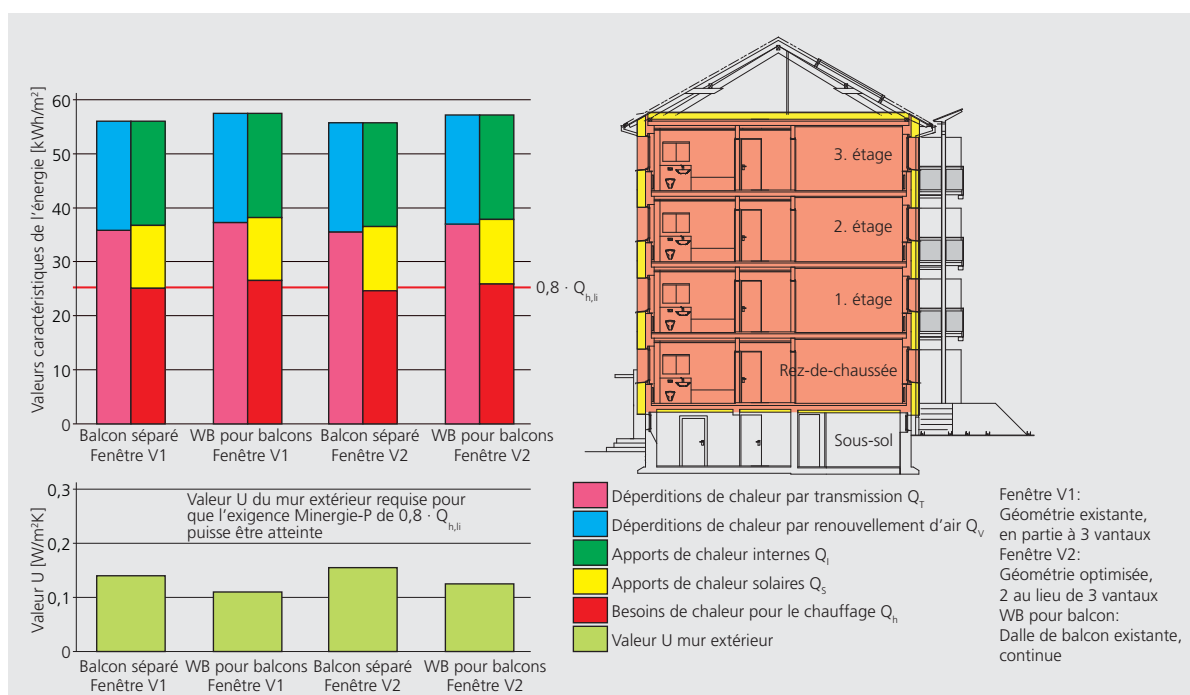


Illustr. 62: Rénovation de l'immeuble collectif. Les balcons existants sont retirés et remplacés par une nouvelle construction de balcon autoportante. Le bâtiment est pourvu d'une isolation thermique extérieure et les plafonds contre la cave et les combles font également l'objet d'une isolation thermique. Les nouvelles fenêtres sont alignées sur la surface extérieure, au niveau de la nouvelle couche d'isolation thermique. Au lieu des battants en bois existants, les stores à lames dans un logement de linteau extérieur garantissent la protection solaire. Il s'agit d'optimiser les différents éléments de construction afin que la nouvelle enveloppe de bâtiment atteigne le standard Minergie-P.

Illustr. 63: Avec la nouvelle enveloppe thermique du bâtiment, la période de chauffage n'est plus désormais que de 7 mois. Les besoins de chaleur pour le chauffage sont également nettement inférieurs à ceux avant rénovation. Les nouveaux besoins de chaleur pour le chauffage Q_h de 25 kWh/m² respectent exactement la valeur limite exigée par Minergie-P.



Illustr. 64: Influence de la géométrie des fenêtres (2 au lieu de 3 battants) et de la construction des balcons (séparé ou continu). Une géométrie de fenêtre optimisée permet d'atteindre des valeurs U supérieures au niveau du mur extérieur. A l'inverse, un balcon continu exige une meilleure protection thermique.





Illustr. 65: Influence de la taille du bâtiment et du facteur d'enveloppe du bâtiment (A_{th}/A_e) sur la capacité à atteindre Minergie-P. La réduction à deux maisons n'entraîne quasiment aucune modification. Une seule partie exige de meilleures valeurs U au niveau des murs extérieurs (0,13 au lieu de 0,14 W/m² K (balcon séparé) et 0,105 au lieu de 0,11 W/m² K (balcon continu). Lorsqu'un étage supplémentaire est supprimé, le standard Minergie-P ne peut être respecté en prenant uniquement des mesures au niveau des murs. Cela exigerait des valeurs U de 0,08 W/m² K (balcon séparé) et de 0,06 W/m² K (balcon continu).

leurs U au niveau des murs extérieurs. Il faudrait également améliorer l'isolation thermique du plancher sur le sous-sol et du plafond contre les combles et trouver éventuellement une meilleure solution thermique pour l'accès au sous-sol.

Conclusions

Les différentes réflexions menées sur l'exemple d'un immeuble collectif montrent que le standard Minergie-P peut être atteint grâce à des concepts de rénovation judicieux. Une rénovation selon Minergie-P permet de réduire de 36 % les besoins de chaleur pour le chauffage par rapport à

une rénovation effectuée selon la «loi sur l'énergie» ou selon SIA 380/1 ($Q_h = 125\%$ de $Q_{h,li}$). Minergie-P pose donc également des jalons dans le domaine de la rénovation et il faut, à présent, espérer que le plus de bâtiments possible accéderont à ce standard d'efficacité énergétique.

Méthode de calcul selon la norme SIA 380/1

La méthode de calcul selon la norme SIA 380/1 repose sur des bilans mensuels selon la norme européenne EN 13790 «Performance énergétique des bâtiments – Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage».

Facteurs d'influence

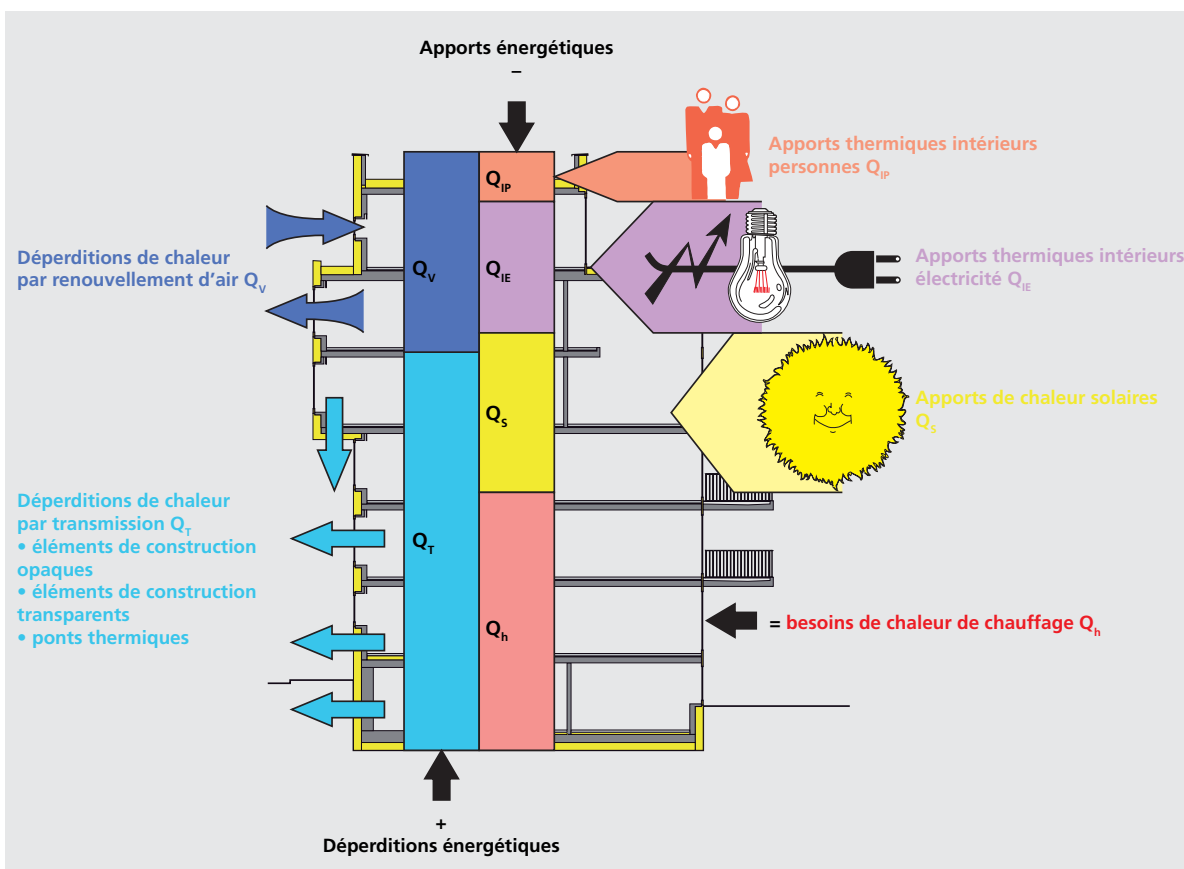
Le bilan énergétique (Illustration 66) tient compte des déperditions d'énergie par transmission et renouvellement d'air ainsi que des apports énergétiques dus au rayonnement solaire, aux personnes et à l'électricité (lumière, appareils...). Grâce à ce modèle de bilan énergétique, on identi-

fie aisément la marge de manœuvre dont disposent les planificateurs pour atteindre le standard Minergie-P.

Déperditions par transmission

Les déperditions de chaleur sont calculées à travers l'enveloppe thermique du bâtiment (Illustration 67). Outre le choix optimal de l'enveloppe thermique du bâtiment (p.ex. délimitation chauffé/non chauffé et à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enveloppe), le planificateur influence les déperditions par transmission grâce à la qualité de l'isolation thermique des éléments de construction opaques et transparents (valeurs U) ainsi que par la réalisation des raccords si possible sans ponts thermiques. Le genre de la régulation de la température ambiante a également un impact sur les déperditions par transmission en raison de la majoration de la température ambiante (pour le calcul). Avec une régulation de la température par pièce et/ou une température de départ de 30°C maximum (à la température extérieure de dimensionnement), il n'y a pas de majoration. Cela de-

Illustr. 66: La procédure de calcul selon la norme SIA 380/1 permet d'établir le bilan des déperditions et des apports énergétiques d'un bâtiment au fil des mois. Les besoins de chaleur pour le chauffage restants Q_h constituent le principal critère à respecter pour atteindre Minergie-P.



vrait généralement être le cas dans un bâtiment Minergie-P avec chauffage statique (chauffage au sol, radiateurs etc.). En cas de chauffage à air chaud (la chaleur est amenée par l'aération douce), la température est généralement régulée à partir une pièce de référence; dans ce cas la température ambiante doit être majorée de 1 kelvin. Pour les éléments de construction entre les locaux chauffés et non chauffés, le facteur de réduction b prend en compte les différences de température entre l'air extérieur et le local non chauffé (p. ex. $b = 0,7$ contre caves entièrement enterrées). Pour les éléments de construction contre terre, le facteur b tient compte de l'action isolante de la terre.

Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air décrivent les déperditions dues au thermiquement actif (Illustr. 68). Le débit d'air neuf est défini comme fixe pour l'exigence primaire Minergie-P dans la norme SIA 380/1 pour chaque catégorie de bâtiment. Dans le calcul des besoins de chaleur pour

le chauffage Q_h pour l'indice pondéré de dépense d'énergie, le débit d'air neuf correspond à la valeur du bâtiment. Le planificateur peut donc influencer la valeur du bâtiment uniquement par le choix de l'aération (p. ex. échangeur de chaleur, degré de récupération de chaleur). Les déperditions par renouvellement d'air représentent une grandeur invariable pour l'optimisation de l'enveloppe du bâtiment.

Apports de chaleur internes

Les apports internes provenant des personnes et des appareils électriques sont des valeurs des conditions normales d'utilisation selon la norme SIA 380/1, qui ne peuvent être influencées ni par les éléments de construction ni par l'architecture (Illustr. 69). Le taux d'utilisation réduit les apports de chaleur mensuels globaux (apports internes et externes) à la part utilisable pour chauffer le local. Le taux d'utilisation est influencé par les facteurs suivants:

■ Rapport apports/déperditions (plus les apports sont importants, plus leur proportion utilisée est faible).

Illustr. 67: Les déperditions de chaleur par transmission sont déterminées, principalement, par la qualité de la construction et la protection thermique existante (éléments de construction et raccords). Le choix de la régulation de la température ambiante a également un impact.



Déperditions de chaleur par transmission Q_T

Coefficient de déperdition H x

- Surface d'élément de constr. · Valeur U · b
- Surface des fenêtres · Valeur U_w · b
- Longueur des ponts thermiques · Valeur Ψ · b
- Nombre de ponts thermiques · Valeur χ · b

Différence de température (climat) x Temps

- Température intérieure – Température extérieure
- Influence de la régulation de la température ambiante

Surface de référence énergétique A_E

Valeur U	Coefficient de transmission thermique des éléments de construction opaques
Valeur U_w	Coefficient de transmission thermique des fenêtres
Valeur Ψ	Déperditions linéaires par ponts thermiques
Valeur χ	Déperditions par ponts thermiques ponctuels
Facteur b	Facteur de correction – Flux de chaleur contre les locaux non chauffés – Flux de chaleur contre la terre
A_E	Surface de référence énergétique prise en compte (SIA 416/1)
Influence de la régulation de la température ambiante:	
– 0 kelvin	en cas de régulation de la température via local de référence et/ou température de départ de 30°C max. au niveau de la température de base
– 1 kelvin	en cas de régulation de la température via local de référence (p. ex. en cas de chauffage à air chaud)
– 2 kelvins	dans les autres cas

Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h sont le résultat du bilan des déperditions par transmission les plus petites possibles Q_{tr} , des déperditions par renouvellement d'air standard Q_v et des apports énergétiques maximisés Q_i et Q_s (marge de manœuvre uniquement pour les apports solaires). Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h constituent le critère pour l'exigence primaire Minergie-P: dans les constructions neuves, les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h doivent être inférieurs de 40 % à la valeur limite correspondante $Q_{h,li}$, il ne faut pas descendre en deçà d'une valeur-seuil de 15 kWh/m² (Illustration 71). L'exigence «Minergie-P» relative aux constructions neuves correspond donc au critère «valeur cible selon la norme SIA 380/1». La valeur limite $Q_{h,li}$ dé-

– 2 kelvins dans les autres cas

Illustr. 69: Les apports de chaleur internes se basent sur les valeurs d'utilisation standard. Le planificateur peut les influencer uniquement par le choix du mode de construction (lourde, intermédiaire ou légère), qui agit sur le taux d'utilisation des apports de chaleur.



Apports de chaleur internes $Q_I = Q_{IP} + Q_{IE}$



Apports de chaleur dus aux personnes Q_{IP}

Dégagement de chaleur	x Temps	x Taux d'utilisation des apports de chaleur η_g
– Dégagement de chaleur des personnes Q_p		– Rapport apports énergétiques/déperditions énergétiques
– Temps de présence par jour t_p		– Capacité d'accumulation thermique du bâtiment

Surface des personnes A_p



Apports de chaleur dus à l'électricité Q_{IE}

Dégagement de chaleur	x Temps	x Taux d'utilisation des apports de chaleur η_g
– Besoins d'électricité Q_{EI}		– Rapport apports énergétiques/déperditions énergétiques
– Facteur de réduction électricité f_{EI}		– Capacité d'accumulation thermique du bâtiment

365

- Q_p Dégagement de chaleur par personne (valeur d'utilisation standard)
 t_p Temps de présence par jour (valeur d'utilisation standard)
 A_p Surface par personne (valeur d'utilisation standard)
 Q_{EI} Besoins d'électricité par jour (valeur d'utilisation standard)
 f_{EI} Facteur de réduction pour besoins d'électricité (valeur d'utilisation standard)
 η_g Taux d'utilisation des apports de chaleur
- Plus les apports sont importants par rapport aux déperditions, plus l'utilisation des apports de chaleur interne est faible
 - Plus la capacité d'accumulation thermique (C/A_e) du bâtiment est élevée, plus l'utilisation des apports de chaleur interne est importante
 - Construction lourde $C/A_e = 0,5 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{K}$
 - au moins deux des trois éléments thermiques actifs (plafonds, sols, tous les murs) massive et sans couverture
 - Construction moyenne $C/A_e = 0,3 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{K}$
 - au moins un des trois éléments thermiques actifs (plafonds, sols, tous les murs) massive et sans couverture
 - Construction en bois: Construction en blocs et construction en bois massif
 - Construction légère $C/A_e = 0,1 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{K}$
 - construction en bois: construction à colonnes

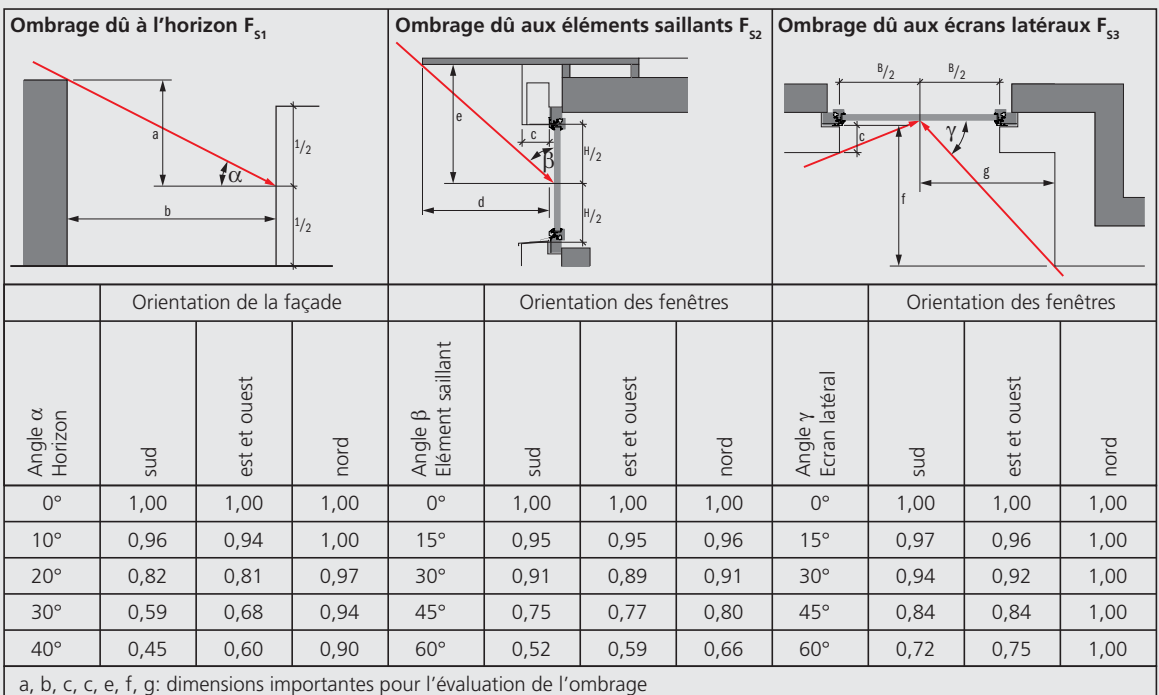
Remarque: les valeurs d'utilisation standard dépendent de la catégorie du bâtiment.

nêtres au sud), l'ombrage influence également les apports de chaleur solaires. Les apports de chaleur effectivement utilisables sont influencés par le degré d'utilisation des apports de chaleur η_g (illustr. 69).

Apports de chaleur solaires Q_s

- Horizon F_{S1}
- Elément saillant F_{S2}
- Ecran latéral F_{S3}

A_w	Surface des fenêtres dans la projection extérieure
F_F	Facteur de réduction pour cadre de fenêtre ($A_w \cdot F_F = A_g$)
A_g	Surface vitrée
g	Taux de transmission d'énergie globale – en cas de rayonnement solaire perpendiculaire – réduit du facteur 0,9 (rayonnement solaire non direct)
G	Rayonnement solaire global – dépend de l'emplacement du bâtiment (station météorologique) – différent pour orientation sud, est, ouest, nord et horizon
η_g	Taux d'utilisation des apports de chaleur (voir aussi illustr. 69)
A_e	Surface de référence énergétique prise en compte (SIA 416/1)



pend du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E et de la catégorie. L'illustration 71 met en évidence les valeurs limites imposées aux bâtiments d'habitation (habitat collectif) pour différents standards énergétiques.

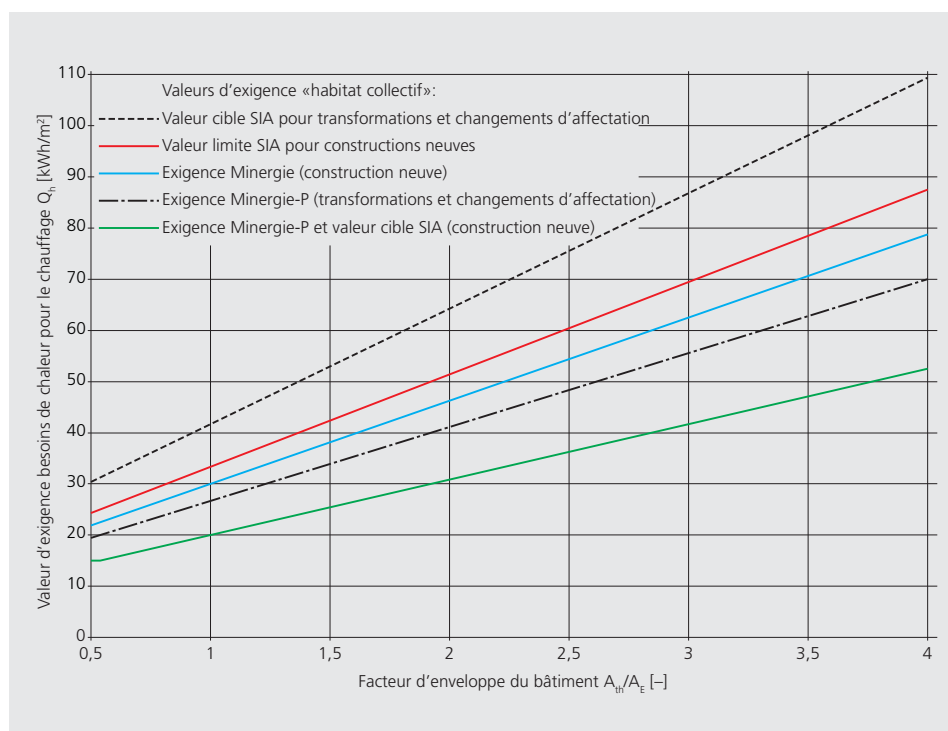
Modèle SIA 380/1 et réalité

La question de la parfaite conformité avec la réalité de ces calculs reposant sur une méthode mensuelle est posée en permanence. Les comparaisons entre la méthode selon la norme SIA 380/1 et la simulation thermique des locaux mettent en évidence des concordances. Il est difficile de comparer le calcul et les besoins de chaleur effectifs, les utilisateurs étant des impondérables que l'on ne peut recenser. Dans l'exemple d'un immeuble collectif habité depuis 2002, au centre de la ville de Lucerne, l'influence de l'utilisateur doit être montrée et les besoins de chaleur pour le chauffage doivent être comparés avec la consommation réelle. De plus, il convient de mettre en évidence comment le standard Minergie-P peut être atteint dans le cas de cet immeuble collectif et quels paramètres influencent les besoins de chaleur pour le chauffage.

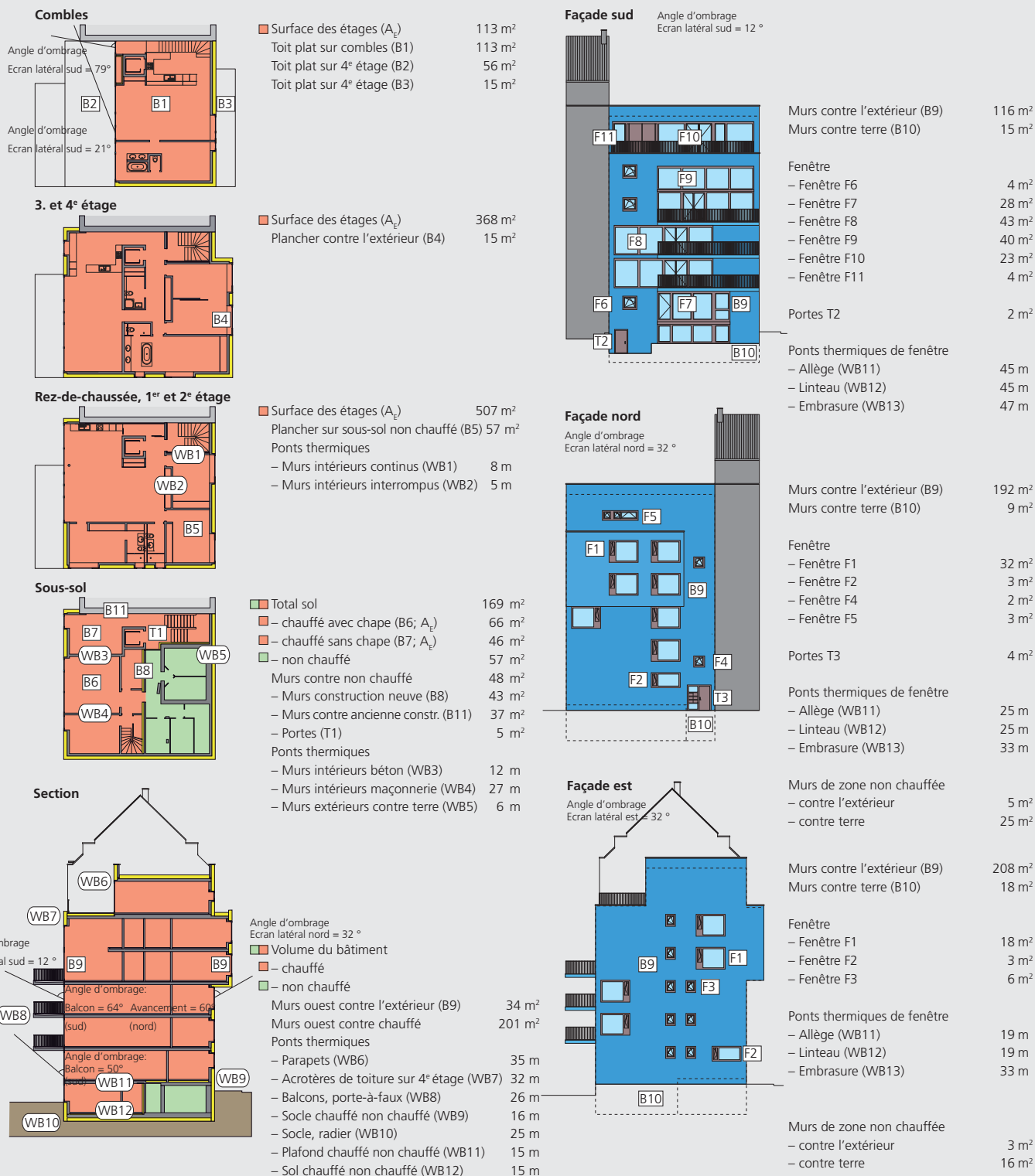
Habitation collective à Lucerne

L'habitation collective conçue par les architectes Scheitlin-Syfrig + Partner est le premier d'une suite de bâtiments contigus et alignés sur rue, orientée nord/sud, à Lucerne. Les 5 logements disposent de grandes fenêtres au sud, avec un horizon peu ombragé. Des bâtiments de même hauteur sont implantés au nord et à l'est, séparés par la rue; l'alignement des constructions existantes s'étend vers l'ouest. L'illustration 72 représente la structure du bâtiment et indique les principales valeurs caractéristiques pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage. L'illustration 73 est consacrée aux constructions opaques présentant des valeurs U de $0,32 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (B8, murs contre locaux non chauffés) à $0,139 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (toits plats B1 et B2). Les valeurs caractéristiques des fenêtres et des portes figurent sur l'illustration 74 et l'illustration 75 regroupe les raccords et l'action des ponts thermiques (la variante mise en œuvre dans la colonne de gauche et les solutions alternatives dans la colonne de droite).

La valeur limite $Q_{h,li}$ dépend principalement du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E et de la catégorie du bâtiment. Les exigences relatives à la valeur limite selon SIA 380/1 sont corrigées par un facteur climatique en fonction de l'emplacement et de la station météorologique correspondante. Pour la ville de Lucerne par exemple, les valeurs limites SIA pour les constructions neuves sont 10 % inférieures aux valeurs limites sur l'illustration 71. Pour le même bâtiment à Davos, les valeurs limites seraient alors supérieures de 39 %.

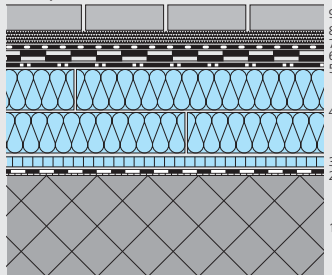


Illustr. 71: Les immeubles collectifs (habitat collectif) sont soumis à des exigences relatives aux besoins de chaleur pour le chauffage Q_h . La norme SIA 380/1 définit l'exigence de base $Q_{h,li}$ en fonction du facteur d'enveloppe du bâtiment A_{th}/A_E comme valeur limite. Minergie impose des exigences supérieures en matière des besoins de chaleur pour le chauffage: $Q_h \leq 0,9 \cdot Q_{h,li}$ pour Minergie (construction neuve); $Q_h \leq 0,8 \cdot Q_{h,li}$ pour Minergie-P (rénovation) et $Q_h \leq 0,6 \cdot Q_{h,li}$ pour Minergie-P (construction neuve). Pour les constructions neuves, l'exigence de Minergie-P correspond à la valeur cible de la norme SIA pour les besoins de chaleur pour le chauffage d'un bâtiment.



Illustr. 72: Données concernant l'enveloppe thermique du bâtiment à l'état réel, avec les surfaces de référence énergétique qui en résultent, les éléments de construction et les raccords. Sont également indiqués les angles pris en compte pour le calcul des facteurs d'ombrage.

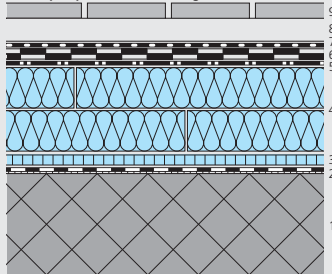
B1 Toit plat sur combles



- 1 Béton armé dans la pente 220 mm
- 2 Pare-vapeur et étanchéité provisoire
- 3 Couche d'isolation contre les bruits de choc EPS-T 10 mm
- 4 Plaque PUR caché alu 2 x 80 mm
- 5 Aggrégat de séparation
- 6 Isolation
- 7 Couche de protection
- 8 Gravillons au moins 25 mm
- 9 Dallage 40 mm

Valeur $U = 0,139 \text{ W/m}^2\text{K}$

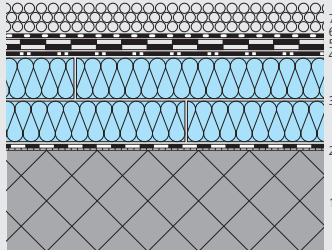
B2 Toit plat praticable sur 4^e étage



- 1 Béton armé dans la pente 220 mm
- 2 Pare-vapeur et étanchéité provisoire
- 3 Couche d'isolation contre les bruits de choc EPS-T 10 mm
- 4 Plaque PUR caché alu 2 x 80 mm
- 5 Aggrégat de séparation
- 6 Isolation
- 7 Couche de protection
- 8 Lattage de bois (compensation de la pente)
- 9 Caillebotis horizontal en bois

Valeur $U = 0,139 \text{ W/m}^2\text{K}$

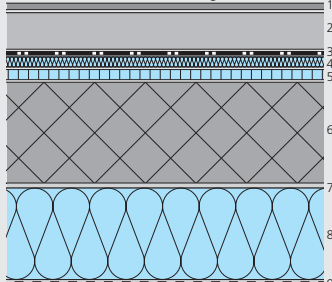
B3 Toit plat avec gravier sur 4^e étage



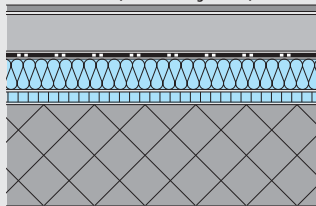
- 1 Béton armé dans la pente 220 mm
- 2 Pare-vapeur et étanchéité provisoire
- 3 Plaque PUR caché alu 2 x 80 mm
- 4 Aggrégat de séparation
- 5 Isolation
- 6 Couche de protection
- 7 Gravier rond ou végétalisation extensive

Valeur $U = 0,144 \text{ W/m}^2\text{K}$

B4 Sol sur l'extérieur (avec chauffage au sol)



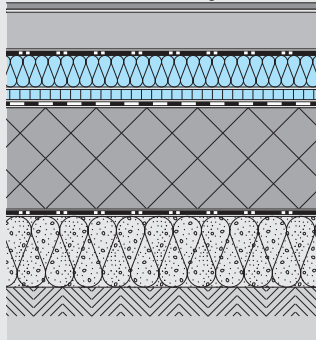
B5 Sol sur sous-sol (avec chauffage au sol)



- 1 Revêtement de sol (11 mm de parquet)
- 2 Chape 80 mm
- 3 Aggrégat de séparation et de glissement
- 4 Plaque PUR caché alu 60 mm
- 5 Plaque d'isolation contre les bruits de choc 20 mm
- 6 Béton armé 220 mm

Valeur $U = 0,282 \text{ W/m}^2\text{K}$

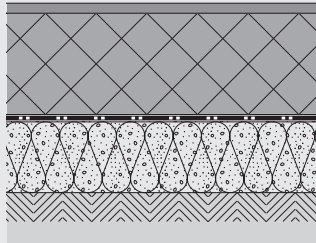
B6 Dalle contre terre (avec chauffage au sol)



- 1 Revêtement de sol (11 mm de parquet)
- 2 Chape 80 mm
- 3 Couche de séparation et de glissement
- 4 Plaque PUR caché alu 60 mm
- 5 Plaque d'isolation contre les bruits de choc 20 mm
- 6 Barrière aux remontées capillaires
- 7 Radier en béton armé 300 mm
- 8 Aggrégat de séparation (2 couches film PE)
- 9 Remblai MISAPOR 140 mm

Valeur $U = 0,158 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EN ISO 13370)
Valeur $U = 0,200 \text{ W/m}^2\text{K}$ (sans terrain)
Facteur $b = 0,79$

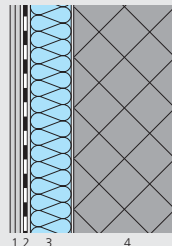
B7 Dalle contre terre



- 1 Couche de ciment 30 mm
- 2 Radier en béton armé 300 mm
- 3 Aggrégat de séparation (2 couches film PE)
- 4 Remblai MISAPOR 140 mm

Valeur $U = 0,252 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EN ISO 13370)
Valeur $U = 0,550 \text{ W/m}^2\text{K}$ (sans terrain)
Facteur $b = 0,46$

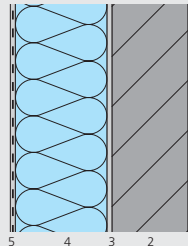
B8 Murs contre locaux non chauffés



- 1 Panneaux de plâtre cartonné 2 x 12,5 mm
- 2 Pare-vapeur
- 3 Profil C/plaque d'isolation en fibres 120 mm
- 4 Béton armé 150 mm

Valeur $U = 0,320 \text{ W/m}^2\text{K}$

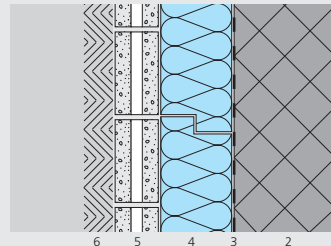
B9 Murs contre l'extérieur



- 1 Crépi intérieur 10 mm
- 2 Maçonnerie en briques silico-calcaires 150 mm (en partie murs en béton armé)
- 3 Mortier colle 4 mm
- 4 Plaque de mousse rigide polystyrène EPS «lambda» 180 mm
- 5 Mortier d'enrobage crépi extérieur 10 mm

Valeur $U = 0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$

B10 Murs contre terre



- 1 Crépi intérieur 10 mm
- 2 Béton armé 200 mm
- 3 Couche de protection contre l'humidité
- 4 Plaque de mousse rigide en polystyrène XPS 140 mm
- 5 Plaques filtrantes
- 6 Terre

Valeur $U = 0,188 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EN ISO 13370)
Valeur $U = 0,216 \text{ W/m}^2\text{K}$ (sans terre)
Facteur $b = 0,87$

Illustr. 73: Récapitulatif des éléments de construction opaques effectifs pour le justificatif de la situation réelle selon la norme SIA 380/1. Les valeurs U des éléments de construction ont été en partie améliorées pour l'optimisation selon Minergie-P: toits plats ayant des valeurs U de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (B1) ou de $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (B2 et B3). En revanche, les éléments de construction contre la terre et le sol au-dessus de l'air extérieur (B4) ont été pris en compte tels quels. Les murs extérieurs (B9) présentent avec $0,172 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ pour Minergie-P la même valeur U et servent de «masse de manipulation» dans le cadre des réflexions sur la sensibilité (valeur U requise du mur extérieur, pour pouvoir atteindre le standard Minergie-P).

Fenêtre F1 avec vantail d'aération

Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,62 –
Valeur U vantail d'aération	0,57 W/m ² K

Valeur U U_w 0,86 W/m²K**Fenêtre F2 avec vantail d'aération**

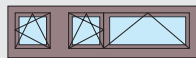
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,57 –
Valeur U vantail d'aération	0,57 W/m ² K

Valeur U U_w 0,91 W/m²K**Fenêtre F3**

Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,44 –

Valeur U U_w 1,18 W/m²K**Fenêtre F4**

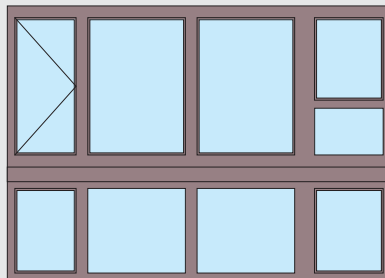
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,44 –

Valeur U U_w 1,18 W/m²K**Fenêtre F5**

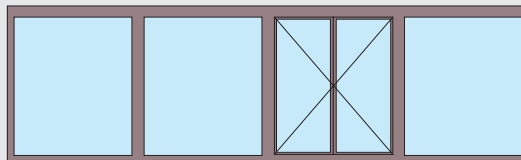
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,52 –

Valeur U U_w 1,10 W/m²K**Fenêtre F6**

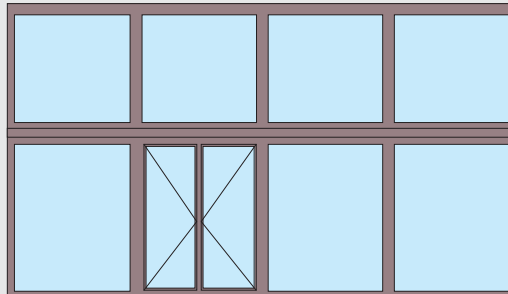
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,56 –

Valeur U U_w 1,04 W/m²K**Fenêtre F7**

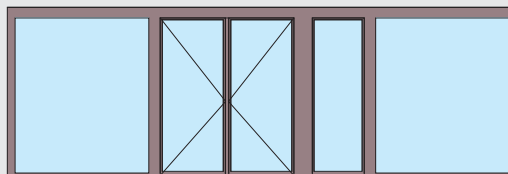
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,64 –

Valeur U U_w 0,93 W/m²K**Fenêtre F8**

Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,77 –

Valeur U U_w 0,81 W/m²K**Fenêtre F9**

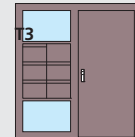
Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,74 –

Valeur U U_w 0,83 W/m²K**Fenêtre F10**

Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,77 –

Valeur U U_w 0,81 W/m²K**Fenêtre F11**

Valeur U du cadre U_f	1,45 W/m ² K
Valeur U verre U_g	0,50 W/m ² K
Intercalaire Ψ_g	0,05 W/mK
Valeur g	0,43 –
Part de verre	0,56 –

Valeur U U_w 1,01 W/m²K**Portes T1 et T2****Valeur U porte: 2,0 W/m²K****Portes****Valeur U porte: 1,8 W/m²K**

Illustr. 74: Récapitulatif des fenêtres et portes existantes pour le justificatif de la situation réelle selon la norme SIA 380/1. Pour l'optimisation selon Minergie-P, le vitrage a été adapté en raison des modifications du marché: valeur U_g 0,6 W/m²K au lieu de 0,5 W/m²K; valeur g 0,48 au lieu de 0,43.

WB1 Murs intérieurs maçonnerie en briques silico-calcaires continue $\Psi = 0,55 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,17 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique Avec séparation thermique	WB8 Balcons $\Psi = 0,30 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0 \text{ W/m K}$ Avec raccord de porte-à-faux Balcon avec structure porteuse propre
WB2 Murs intérieurs maçonnerie en briques silico-calcaires décalée $\Psi = 0,55 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,17 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique Avec séparation thermique	WB9 Socle chauffé – non chauffé $\Psi = 0,24 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,27 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,03 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique Avec séparation thermique
WB3 Murs intérieurs béton armé contre terre $\Psi = 0,32 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique	WB10 Socle, radier $\Psi = 0,06 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique
WB4 Murs intérieurs maçonnerie en briques silico-calcaires contre terre $\Psi = 0,20 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,07 \text{ W/m K}$ Sans séparation thermique Avec séparation thermique	WB11 Plafond chauffé – non chauffé $\Psi = 0,53 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,83 \text{ W/m K}$ Avec isolation thermique des zones marginales Sans zones marginales WD
WB5 Mur extérieur en béton armé contre terre $\Psi = 0,50 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,07 \text{ W/m K}$ Sans isolation thermique des zones marginales Avec isolation thermique des zones marginales	WB12 Sol chauffé - non chauffé $\Psi = -0,13 \text{ W/m K}$ $\Psi = -0,16 \text{ W/m K}$ Revêtement jusqu'à l'isolation thermique Revêtement sur l'isolation thermique
WB6 Parapets $\Psi = 0,04 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,25 \text{ W/m K}$ Avec séparation thermique Sans séparation thermique	WB13ff Butée de fenêtre $\Psi = 0,04 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,05 \text{ W/m K}$ Fenêtre posée à l'extérieur Fenêtre recouverte par l'isolation
WB7 Bord du toit sur 4^e étage $\Psi = 0,07 \text{ W/m K}$ $\Psi = 0,22 \text{ W/m K}$ Avec séparation thermique Sans séparation thermique	

Illustr. 75: Points de conflit existants avec l'action des ponts thermiques importants en fonction de la variante d'enveloppe thermique du bâtiment (illustr. 78). Dans les cadres de gauche, le système de construction existant, avec les déperditions par ponts thermiques correspondantes; dans les cadres de droite, une solution de détail de construction alternative.

Consommation d'énergie pour le chauffage

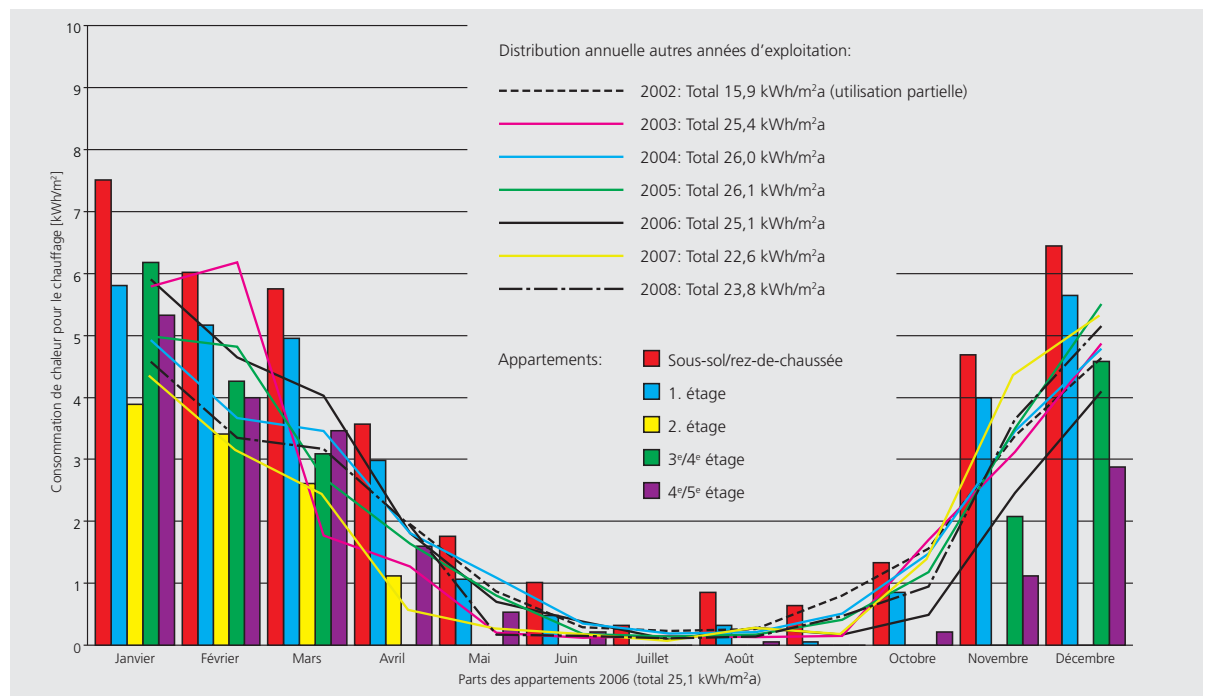
L'habitation collective est chauffée au gaz, la chaleur est distribuée par le biais d'un chauffage au sol. L'illustration 76 présente la consommation mensuelle de chaleur pour le chauffage de chaque logement pour l'année 2006 et propose également l'évolution de la consommation pour toutes les autres années. On constate de très grandes disparités entre les différents

logements au niveau de la consommation d'énergie par m^2 de surface de référence énergétique qui peuvent notamment s'expliquer de la manière suivante:

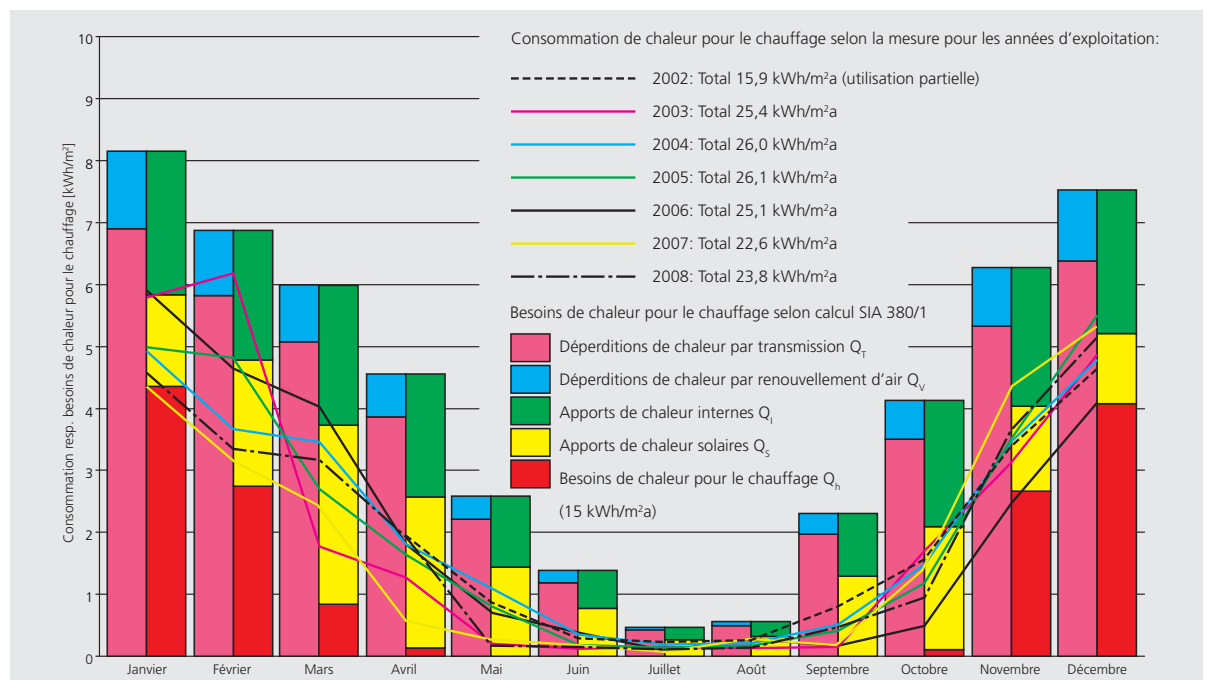
■ Les logements supérieurs sont plus ensoleillés, les deux appartements les plus hauts n'ont pas d'éléments créant des ombres projetées tels que des balcons ou des avant-toits.

■ La température ambiante considérée comme agréable peut être très différente

Illustr. 76: Evolution annuelle de la consommation de chaleur pour le chauffage depuis la référence d'avril 2002 (courbes) et différences de consommation de chaleur pour le chauffage par logement en 2006 (colonnes). Les grandes disparités doivent s'expliquer, outre l'emplacement des logements (ensoleillement), par différentes températures ambiantes et différents comportements d'aération (aération par ouverture des fenêtres au lieu de l'aération douce).



Illustr. 77: Comparaison de la consommation de chaleur pour le chauffage mesurée depuis la référence en avril 2002 (courbes) et de la consommation de chaleur pour le chauffage calculée selon la norme SIA 380/1 (colonnes), sans intégrer le rendement du chauffage (chaudière à gaz).



d'un occupant à l'autre, ce qui engendre des différences importantes au niveau de la consommation de chaleur pour le chauffage.

■ L'aération douce n'est pas utilisée avec la même logique par tous. L'aération par les fenêtres pendant la période de chauffage, en complément ou en remplacement de l'aération douce, entraîne une consommation de chaleur considérablement plus élevée.

■ L'appartement au 2^e étage n'a pas été chauffé de mai 2006 à fin 2006, sans que la température ambiante ne chute sous les 20°C. Il est difficile de comparer les besoins de chaleur pour le chauffage déterminés par calcul avec la consommation effective et de tirer des conclusions concernant l'exactitude de la méthode de calcul, du fait de la grande influence de l'occupant. L'illustration 77 procède néanmoins à cette comparaison, sans tenir compte du rendement du chauffage (chaudière à gaz): les colonnes rouges indiquent les besoins de chaleur pour le chauffage calculés par mois (calcul avec cave en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment (variante 2 sur l'illustration 78) et les courbes représentent la consommation effective de chaleur. Les calculs mettent en évidence que le chauffage est inutile de mai à septembre; la consommation de chaleur néanmoins effective est également liée à la commande du chauffage qui n'est pas réglée de manière optimale. Conformément au calcul de la norme 380/1, l'habitation collective de Lucerne dispose des valeurs caractéristiques suivantes:

■ Facteur d'enveloppe $A_{th}/A_E = 1,06$

■ Valeur limite pour les besoins de chaleur pour le chauffage $Q_{h,li} = 31,0 \text{ kWh/m}^2$

■ Valeur du projet pour les besoins de chaleur pour le chauffage $Q_h = 20,8 \text{ kWh/m}^2$
La valeur du projet est donc 33 % inférieure à la valeur limite imposée par la méthode de calcul de la norme SIA 380/1 pour les «constructions neuves normales». L'enveloppe du bâtiment satisfait donc l'exigence de Minergie $Q_h \leq 0,9$, mais n'est pas suffisante pour respecter l'exigence Minergie-P $Q_h \leq 0,6 \cdot Q_{h,li}$.

Enveloppe du bâtiment pour Minergie-P

On s'interroge sur les mesures à prendre pour pouvoir diminuer de 10 % supplémentaires les besoins de chaleur pour le chauffage, afin de pouvoir obtenir une enveloppe de bâtiment conforme à Minergie-P. Le principal changement pour atteindre cet objectif a été le choix de l'enveloppe thermique du bâtiment. Le sous-sol a donc été intégré dans l'enveloppe thermique du bâtiment (variante 1 sur l'illustration 78). Les éléments de construction opaques et transparents ont fait l'objet des modifications suivantes afin de pouvoir atteindre des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h de $0,6 \cdot Q_{h,li}$:

■ Les toits plats présentent désormais des valeurs U de 0,1 au lieu de 0,139 W/m²K (B1) et de 0,15 au lieu de 0,139 et 0,144 W/m²K (B2 et B3).

■ Le plancher contre l'extérieur (B4) a été conservé (Illustration 73).

■ Les éléments de construction contre terre ont été conservés tels quels (Illustration 73) et les murs extérieurs (B9) présentent également la même valeur U de 0,172 W/m²K. Dans le cadre des réflexions sur la sensibilité, les murs extérieurs (B9) doivent servir de «masse de manipulation» et il convient d'indiquer la valeur U que devrait atteindre le mur extérieur pour satisfaire le standard Minergie-P lorsque différents paramètres ont été modifiés.

■ Les fenêtres ont été conservées, mais le verre a été changé: triple vitrage avec $U_g = 0,6$ au lieu de 0,5 W/m²K et valeur g de 0,48 au lieu de 0,43.

■ Les raccords et, par conséquent, les déperditions par ponts thermiques restent inchangés. Des mesures minimales permettraient donc à cette habitation collective d'atteindre le standard Minergie-P.

Paramètre des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h : réflexions sur la sensibilité

Des modifications même minimales peuvent être déterminantes pour atteindre Minergie-P. Nous allons étudier ci-après l'influence de différentes décisions sur le bilan énergétique et la valeur U exigée par

Le choix de l'enveloppe thermique du bâtiment et la délimitation du sous-sol sont les principales orientations à prendre pour atteindre Minergie-P.

Minergie-P au niveau du mur extérieur:

- Délimitation au sous-sol et choix de l'enveloppe thermique du bâtiment
- Ombres projetées dues aux balcons
- Choix des vitrages
- La capacité d'accumulation thermique du bâtiment et la régulation de la température ambiante
- L'emplacement du bâtiment (station météorologique, Lucerne) et l'orientation du bâtiment (orientation sud ou orientation décalée par rapport à celle-ci)

Délimitation du sous-sol

Les discussions relatives à l'enveloppe thermique du bâtiment se limitent généralement au choix de la délimitation en sous-sol. C'est également le cas pour cette habitation collective (Illustration 78).

- La variante 1, dans laquelle tous les locaux se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment, représente la solution optimale pour de faibles besoins de chaleur pour le chauffage. Grâce aux modifications modérées prédéfinies des éléments de construction opaques et transparents, on peut atteindre des besoins de chaleur de $18,6 \text{ kWh/m}^2$, ce qui est exactement la valeur limite exigée par Minergie-P.
- Dans la variante 2, les caves en sous-sol se trouvent en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment. Il en résulte des flux de chaleur supplémentaires au niveau des éléments de construction entre les locaux chauffés et non chauffés ainsi qu'une augmentation du nombre de raccords importants pour les ponts thermiques. Les «éléments de construction standard» définis ne permettent pas d'atteindre Minergie-P, les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h de $20,1 \text{ kWh/m}^2$ sont supérieurs de 8 % à la valeur limite Minergie-P de $18,6 \text{ kWh/m}^2$. Les murs extérieurs devraient disposer d'une valeur U de $0,13$ au lieu de $0,172 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ pour pouvoir atteindre Minergie-P.
- La solution extrême serait une enveloppe thermique du bâtiment selon la variante 3, bien que les locaux effectivement chauffés soient ainsi délimités dans la pratique. L'ensemble de la construction et les locaux de la cave se trouvent en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment. Cette situation en-

gendre d'importants flux de chaleur supplémentaires, responsables d'une nette augmentation des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h ($23,9 \text{ kWh/m}^2$) par rapport aux variantes 1 et 2. Pour pouvoir atteindre la valeur limite Minergie-P de 20 kWh/m^2 légèrement plus élevée en raison du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E moins bon, les murs extérieurs devraient atteindre des valeurs U de $0,07$ au lieu de $0,172 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ce qui est impossible. L'exemple montre l'importance du choix de l'enveloppe thermique du bâtiment. En dépit d'une construction identique et d'utilisations similaires des locaux, on constate des différences considérables au niveau des besoins de chaleur pour le chauffage calculés et de l'évaluation de la qualification des bâtiments pour Minergie-P.

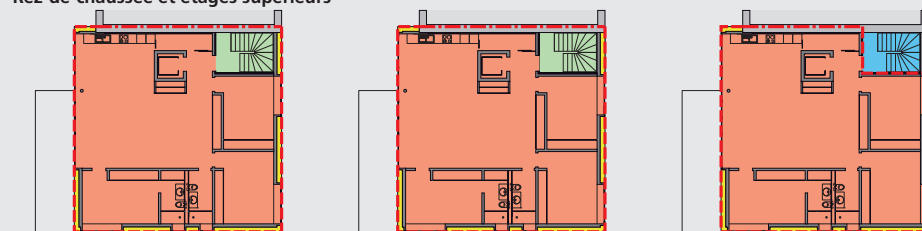
Ombres projetées provenant des balcons

Les apports énergétiques solaires importants pour Minergie-P peuvent être considérablement réduits par des balcons créant de l'ombre. Les apports énergétiques manquants peuvent éventuellement être compensés par la réduction des déperditions de chaleur par transmission; cela exige toutefois des constructions plus coûteuses avec des couches d'isolation thermique plus épaisses. L'illustration 79 montre l'influence de différentes variantes de balcon, voire d'une solution sans balcon, sur le bilan énergétique et la protection thermique exigée par Minergie-P au niveau du mur extérieur. Les réflexions relatives à la sensibilité se basent sur la variante 1 pour l'enveloppe thermique du bâtiment (Illustration 78).

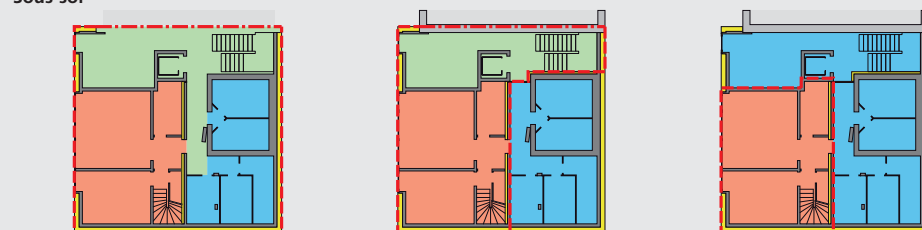
- La disposition des balcons dans la variante 1 représente l'état construit et permet de respecter Minergie-P avec un mur extérieur dont la valeur U est de $0,172 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Dans la variante 2, les fenêtres sont considérablement ombragées par les balcons et des avant-toits. Minergie-P ne peut plus être atteint avec le mur extérieur standard. Les apports de chaleur solaires sont réduits de $19,3$ à $15,8 \text{ kWh/m}^2$, ce qui exigerait, pour atteindre Minergie-P, une valeur U du mur extérieur de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

V.1: bâtiment entièrement à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment V.2: pièces de la cave à l'extérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment V.3: pièces de la cave et aménagement à l'extérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment

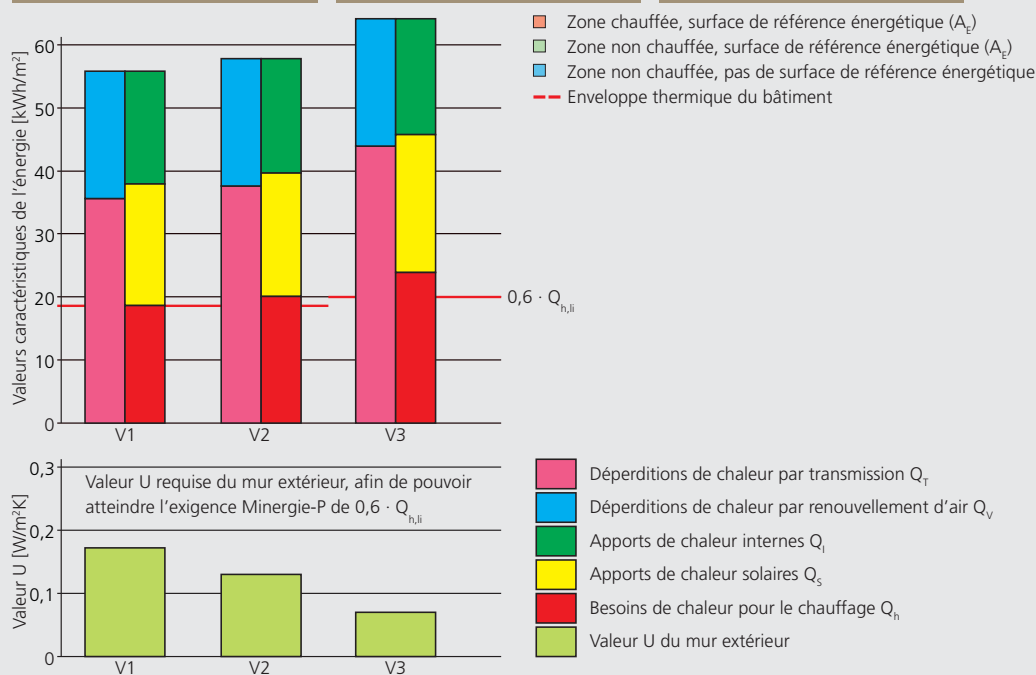
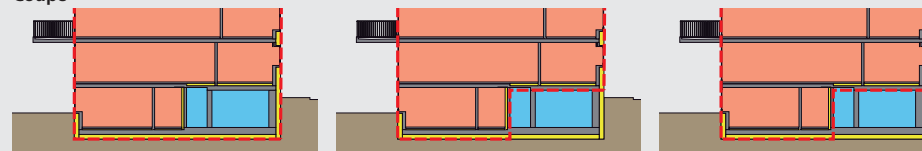
Rez-de-chaussée et étages supérieurs



Sous-sol



Coupe



Illustr. 78: Le choix de l'enveloppe thermique du bâtiment et la délimitation du sous-sol sont les principales orientations à prendre pour atteindre Minergie-P. La délimitation logique du «chauffage effectif» dans la variante 3 ne permet pas d'atteindre Minergie-P; le mur extérieur devrait présenter pour cela une valeur U irréaliste de 0,07 W/m² K. Pour ce bâtiment, la solution optimale est la variante 1 dans laquelle tous les locaux se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment. Cette variante 1 exige pour Minergie-P une valeur U du mur extérieur de 0,172 W/m² K; il s'agit de la variante de base pour les réflexions sur la sensibilité suivantes. Le standard Minergie-P pourrait également être atteint avec la variante 2, avec une valeur U de mur extérieur de 0,13 W/m² K; cette variante devrait toutefois être légèrement moins économique que la variante 1.

La variante 4 ne peut généralement pas être mise en application car des espaces extérieurs, sous forme de balcons p.ex., sont souhaités. Les apports de chaleur solaires élevés de 21,3 kWh/m² permettraient d'atteindre le standard Minergie avec un mur extérieur d'une valeur U de 0,22 W/m²K.

En général, seuls les meilleurs vitrages peuvent permettre d'atteindre Minergie-P. Il est toutefois difficile d'évaluer quels sont les meilleurs vitrages, encore abordables. De plus, cette situation a considérablement évolué ces dernières années. Alors que la valeur g a tout d'abord été remise en cause par de nouveaux revêtements de protection thermique, c'est désormais au tour de la valeur U en raison du débat concernant le gaz noble Krypton. A l'heure



actuelle, il est judicieux de se baser sur un «verre standard» tel que défini dans la variante 3 (Illustration 80): avec l'argon, les meilleures valeurs obtenues sont de $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ et sans vitrage spécial (verre blanc), il est possible d'atteindre une valeur g de 0,48. Il serait également possible de remplacer l'intercalaire en acier inoxydable d'une valeur Ψ_g de 0,05 W/mK par un intercalaire en matière plastique d'une valeur Ψ_g de 0,04 W/mK.

Les bilans et les valeurs U exigées par Minergie-P pour le mur extérieur sur l'illustration 80 se basent en revanche sur l'enveloppe thermique du bâtiment de la variante 1 (Illustration 78).

Il est intéressant de constater que, dans cet habitat collectif, il est possible d'atteindre Minergie-P même avec un bon double vitrage (variantes 5 et 7), et ce avec des murs extérieurs dont les valeurs U sont de 0,15, voire 0,12 W/m²K.

En comparant les vitrages, on s'aperçoit également qu'il n'est intéressant sur le plan énergétique de passer d'un bon double vitrage à un triple vitrage que s'il est possible d'atteindre une valeur U_g de 0,6 W/m²K.

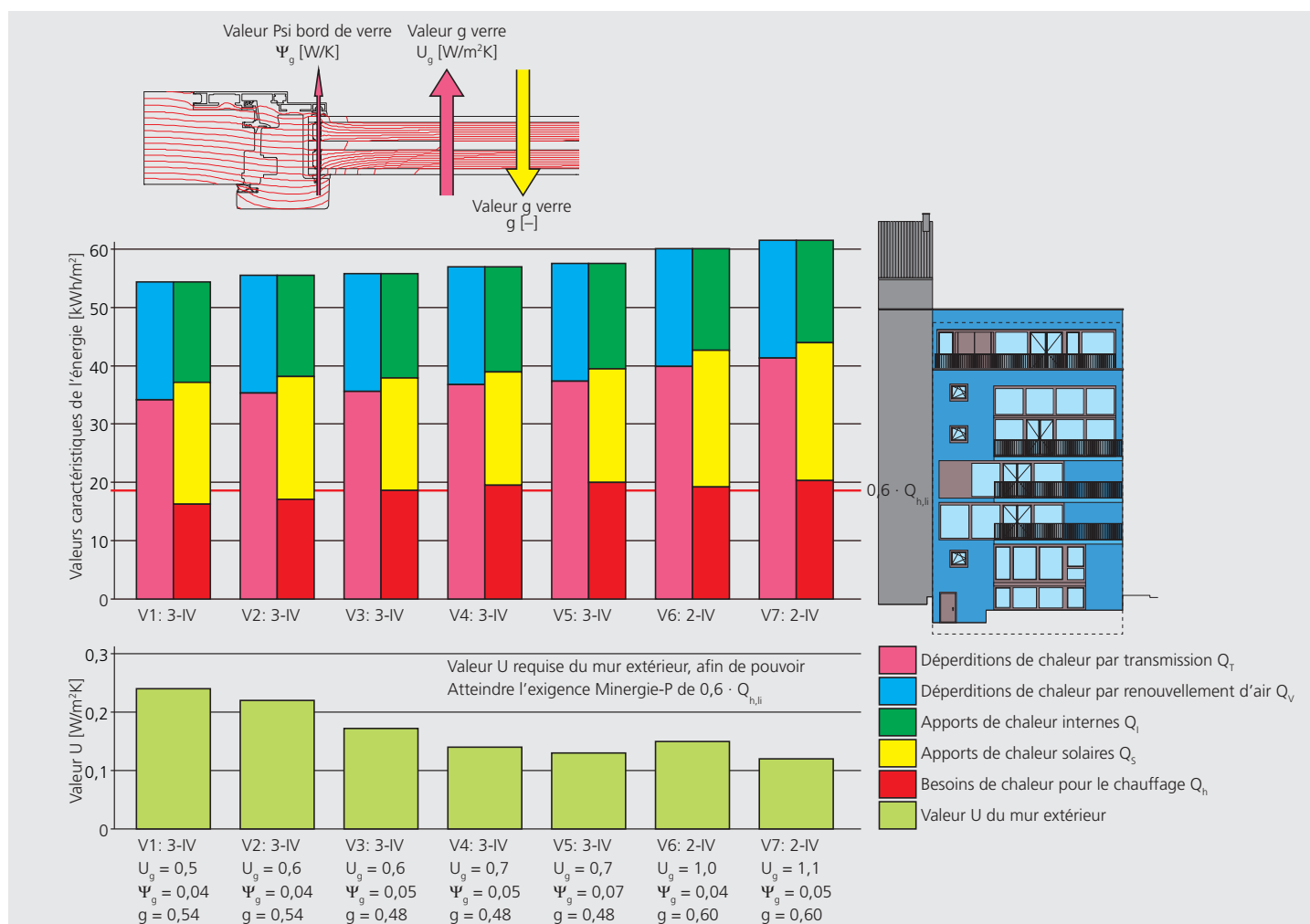
Un mauvais triple vitrage avec intercalaire en aluminium (variante 5, ce qui est interdit!) est moins bon sur le plan énergétique que le meilleur double vitrage (variante 6), qui est cependant également discutable en raison du gaz krypton.

Pour des raisons de confort (courants d'air froid), il est toutefois généralement impossible de passer d'un triple à un double vitrage pour de grandes fenêtres.

Capacité d'accumulation thermique et régulation de la température ambiante

Dans le cas de l'habitation collective de Lucerne, le choix d'une construction massive et d'une régulation de la température par

Illustr. 80: Lorsque tous les autres facteurs sont idéaux, le standard Minergie-P peut être atteint même avec un bon double vitrage. La valeur U du mur extérieur devrait toutefois être nettement meilleure (multipliée par 2) qu'avec le meilleur triple vitrage disponible sur le marché. Pour des raisons de confort (descente d'air froid), le triple vitrage est requis pour les grandes fenêtres.



Illustr. 81: Influence de la capacité d'accumulation thermique du bâtiment et de la régulation de la température ambiante sur le bilan énergétique et la protection thermique requise au niveau du mur extérieur. Pour atteindre le standard Minergie-P, il est difficile d'associer une faible capacité d'accumulation thermique avec une régulation de la température via un local de référence (p.ex. construction légère en bois chauffée à air chaud). Par rapport à la variante «lourde et régulation individuelle de la température des locaux», les besoins de chaleur pour le chauffage de 18,6 kWh/m² augmentent de 30% pour atteindre 24,1 kWh/m². Afin de pouvoir respecter la valeur limite Minergie-P de 18,6 kWh/m², la valeur U du mur extérieur de 0,172 devrait être réduite à 0,03 W/m² K dans la variante «légère et régulation de la température via local de référence».

pièce ont été des décisions optimales dans l'optique du standard Minergie-P. L'illustration 81 montre les effets de méthodes de construction accumulant moins la chaleur et d'une régulation de la température à partir d'un local de référence sur les bilans énergétiques et les valeurs U exigées par Minergie-P pour les murs extérieurs.

■ Une capacité d'accumulation thermique plus faible n'a pas d'impact sur les déperditions (transmission et renouvellement d'air) mais les apports énergétiques (internes et solaires) sont toutefois réduits.

■ Une régulation de la température à partir d'un local de référence engendre une augmentation des déperditions énergétiques du fait de la majoration pour le calcul de la température ambiante et par conséquent une légère augmentation des apports énergétiques.

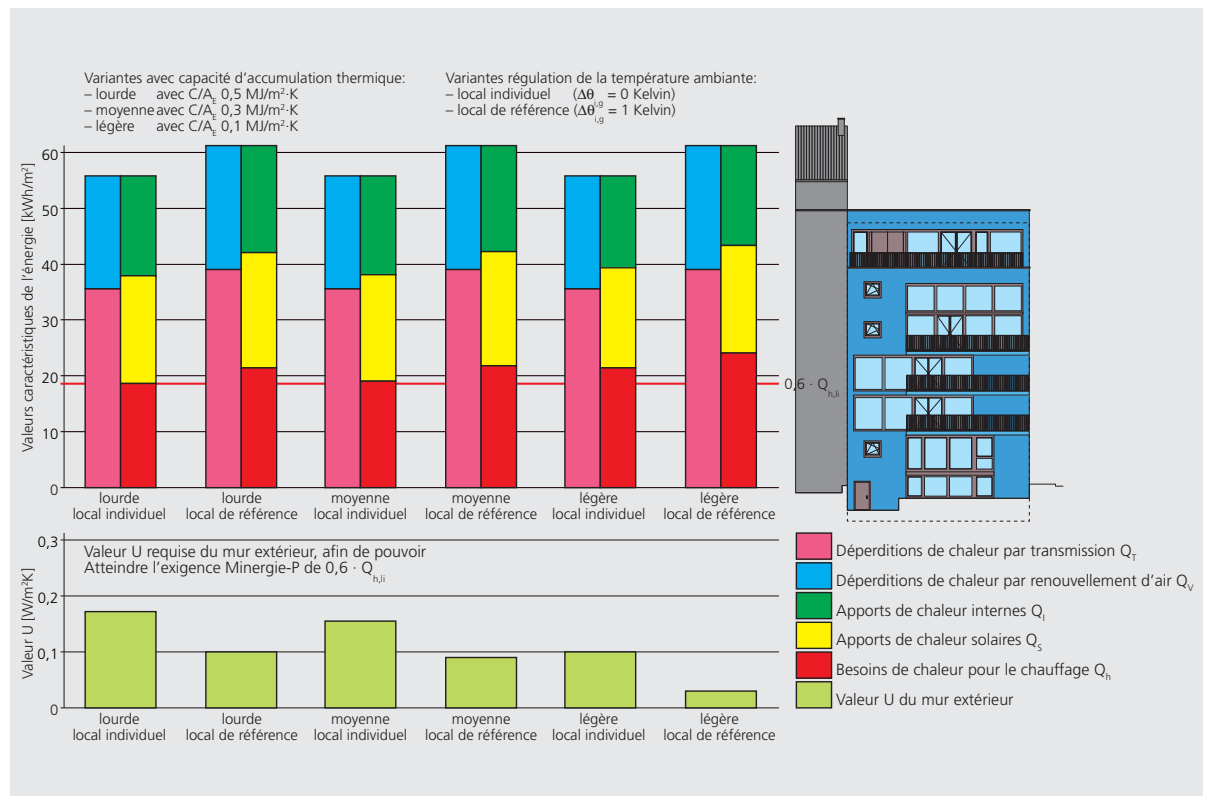
■ Pour Minergie-P, l'association d'une faible capacité d'accumulation thermique avec une régulation de la température à partir d'un local de référence pose problème (p.ex. construction légère en bois chauffée à air chaud). Dans la variante «légère et régulation de la température à partir d'un local de référence» la valeur U

du mur extérieur devrait être réduite de 0,172 à 0,03 W/m² K par rapport à la variante «lourde et régulation de la température par pièce», ce qui est impossible dans la pratique. Remarque: à l'exception des chauffages à air chaud, la variante «régulation de la température à partir d'un local de référence» ne peut être utilisée dans le cadre du standard Minergie-P car la température de départ est à peine supérieure à 30 °C à la température extérieure de dimensionnement ou les radiateurs sont réglés avec des vannes thermostatiques.

Station météorologique

L'emplacement du bâtiment ou la station météorologique de référence, a un impact considérable sur la méthode de construction requise pour Minergie-P, comme le montre l'illustration 82. La base de cette évaluation est l'habitation collective standard avec enveloppe thermique du bâtiment conformément à la variante 1 selon l'illustration 78.

■ La construction doit être de qualité dans les régions où il faut choisir «Wynau» ou «Lucerne» comme station météorologique.



Minergie-P exige des murs extérieurs présentant des valeurs U de $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Wynau) et de $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Lucerne).

■ A Bâle Binningen ou Genève Cointrin, un mur extérieur nettement moins isolant est possible avec des valeurs U d'environ $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$.

■ Si tous les autres éléments de construction offrent une bonne protection thermique, tels que définis comme hypothèse de base, un mur extérieur à Davos ayant une valeur U de $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ voire même un mur extérieur à Lugano ayant une valeur U de $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ permettraient d'atteindre le standard Minergie-P.

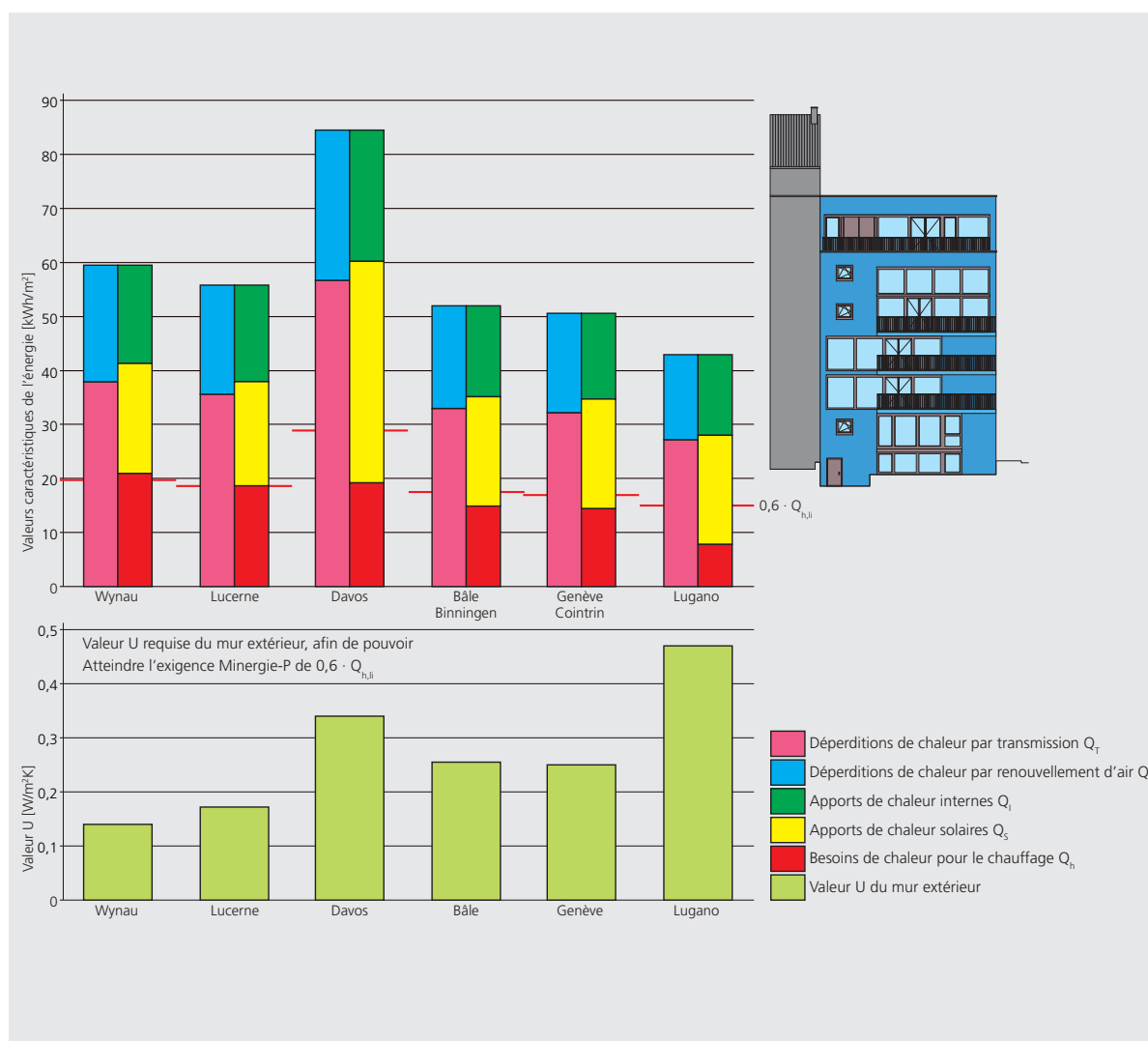
Orientation du bâtiment

Dans quelle mesure tout écart par rapport à l'orientation optimale au sud a-t-il un impact négatif? Le bâtiment de référence a

été légèrement adapté pour cette question. Il s'agit désormais d'un bâtiment solitaire, sans annexe sur le côté ouest. La façade ouest est un mur opaque sans fenêtre, avec une valeur U dans la variante standard de $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aucun ombrage dû à l'horizon n'a été pris en compte. Outre le bilan énergétique, l'illustration 83 met également en évidence la valeur U du mur extérieur permettant d'atteindre le standard Minergie-P.

■ Avec une orientation au sud, la valeur limite Minergie-P de $20,6 \text{ kWh/m}$ légèrement plus élevée en raison d'un facteur d'enveloppe A_{th}/A_E moins bon peut être atteinte avec une valeur U de mur extérieur de $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

■ Un écart par rapport à l'ouest ou à l'est exige des valeurs U de $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ (sud-ouest) à $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ (est).



Illustr. 82: La station météorologique joue un rôle déterminant dans la méthode de construction requise pour Minergie-P. La station de «Wynau» sur le Plateau suisse oblige le planificateur à opter pour des murs extérieurs avec la meilleure protection thermique ($U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$). Si tous les autres éléments de construction offrent une bonne protection thermique, tels que définis comme hypothèse de base, un mur extérieur à Davos ayant une valeur U de $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ voire même un mur extérieur à Lugano ayant une valeur U de $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ permettraient d'atteindre le standard Minergie-P.

Illustr. 83: Le bâtiment de référence est un bâtiment solaire avec façade ouest opaque, sa station météorologique est «Lucerne». L'écart de la façade avec les grandes fenêtres orientées au sud entraîne la diminution des apports de chaleur solaire, ce qui doit être compensé par de meilleures valeurs U au niveau du mur extérieur. Si Minergie-P peut être atteint avec une orientation au sud et une valeur U du mur extérieur de $0,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, une valeur U de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ devrait être atteinte avec une orientation au nord. En cas de rotation du bâtiment du sud vers le sud-ouest, les besoins de chaleur pour le chauffage de $19,0 \text{ kWh/m}^2$, avec le même mur extérieur ($U = 0,172 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), augmentent de $12,1\%$ à $21,3 \text{ kWh/m}^2$; en cas de rotation vers le sud-est, ils augmentent de $14,7\%$ à $21,8 \text{ kWh/m}^2$.

■ Même en cas de changement d'orientation du sud vers le nord, le standard Minergie-P pourrait encore être atteint avec une valeur U de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

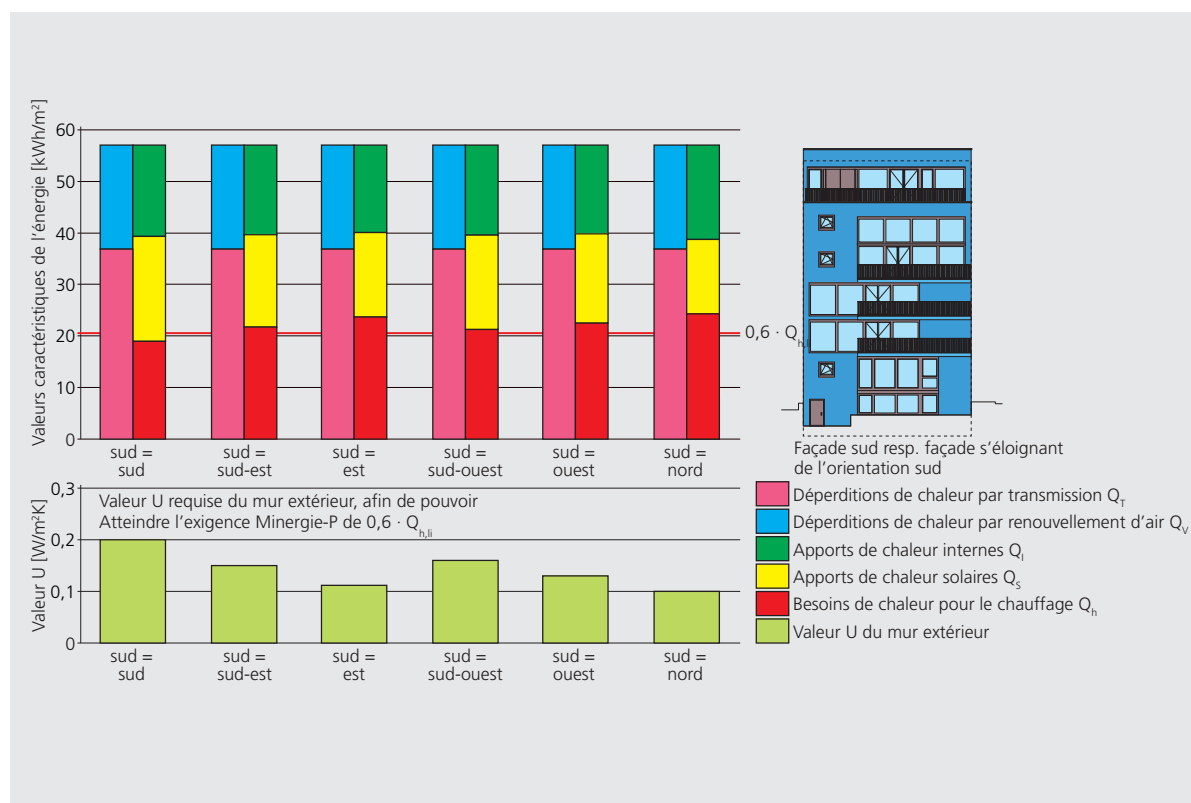
■ Si on construisait le bâtiment à Davos, où l'apport énergétique par rayonnement solaire représente une composante plus importante que sur le Plateau suisse, la valeur U du mur extérieur de $0,33 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ en cas d'orientation au sud passerait à $0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ en cas d'orientation au nord pour le standard Minergie-P.

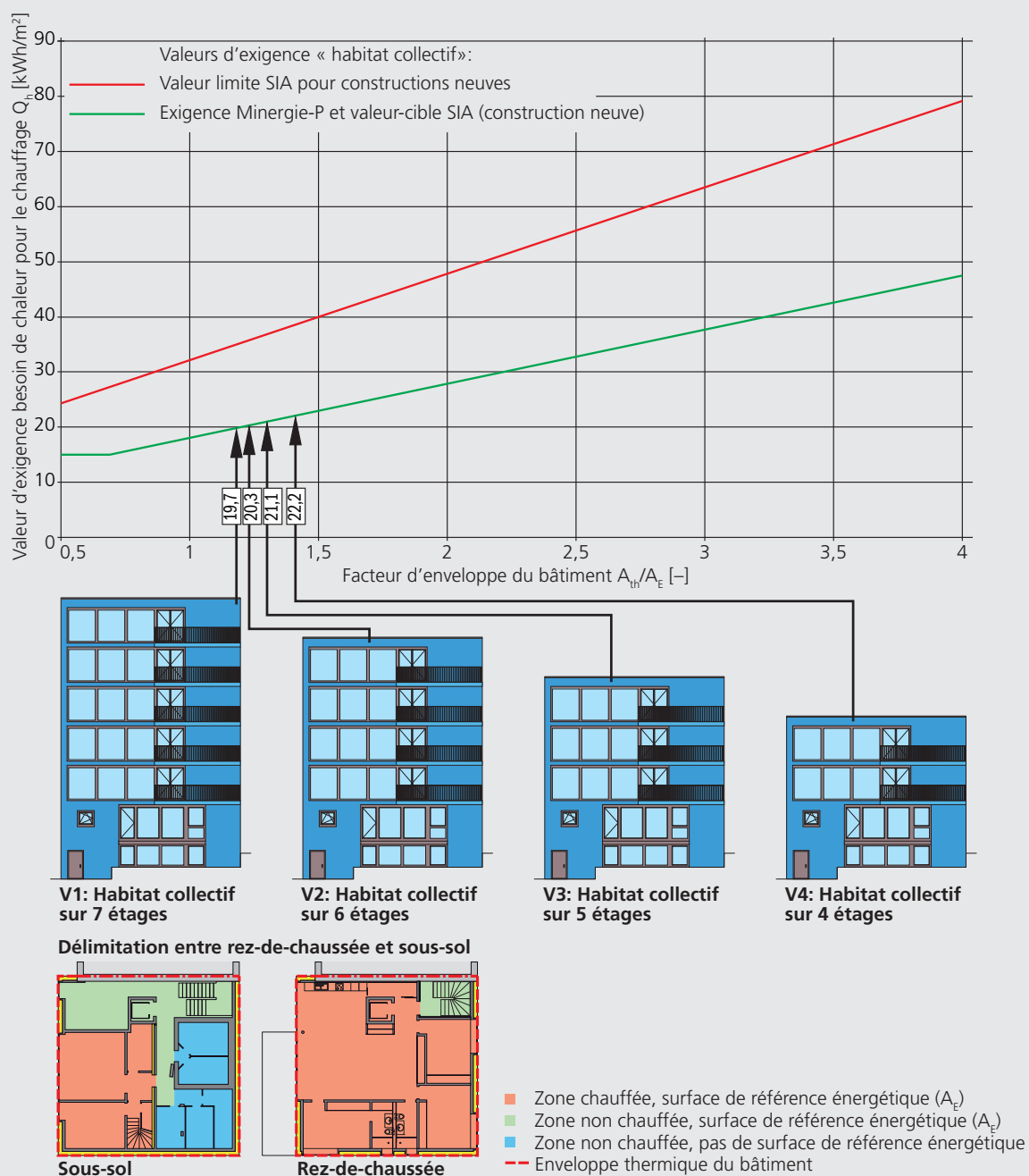
Compacité

Plus le bâtiment est compact, plus les déperditions de chaleur par transmission par m^2 de surface de référence énergétique sont faibles. Les déperditions de chaleur par renouvellement d'air et les apports énergétiques par m^2 de surface de référence énergétique sont quasiment égaux dans toutes les variantes de l'illustration 84. Afin de pouvoir satisfaire les exigences relatives aux besoins de chaleur pour le chauffage ($0,6 \cdot Q_{h,li}$), des compromis peuvent être réalisés au niveau de la valeur U du mur extérieur avec une plus grande compacité.

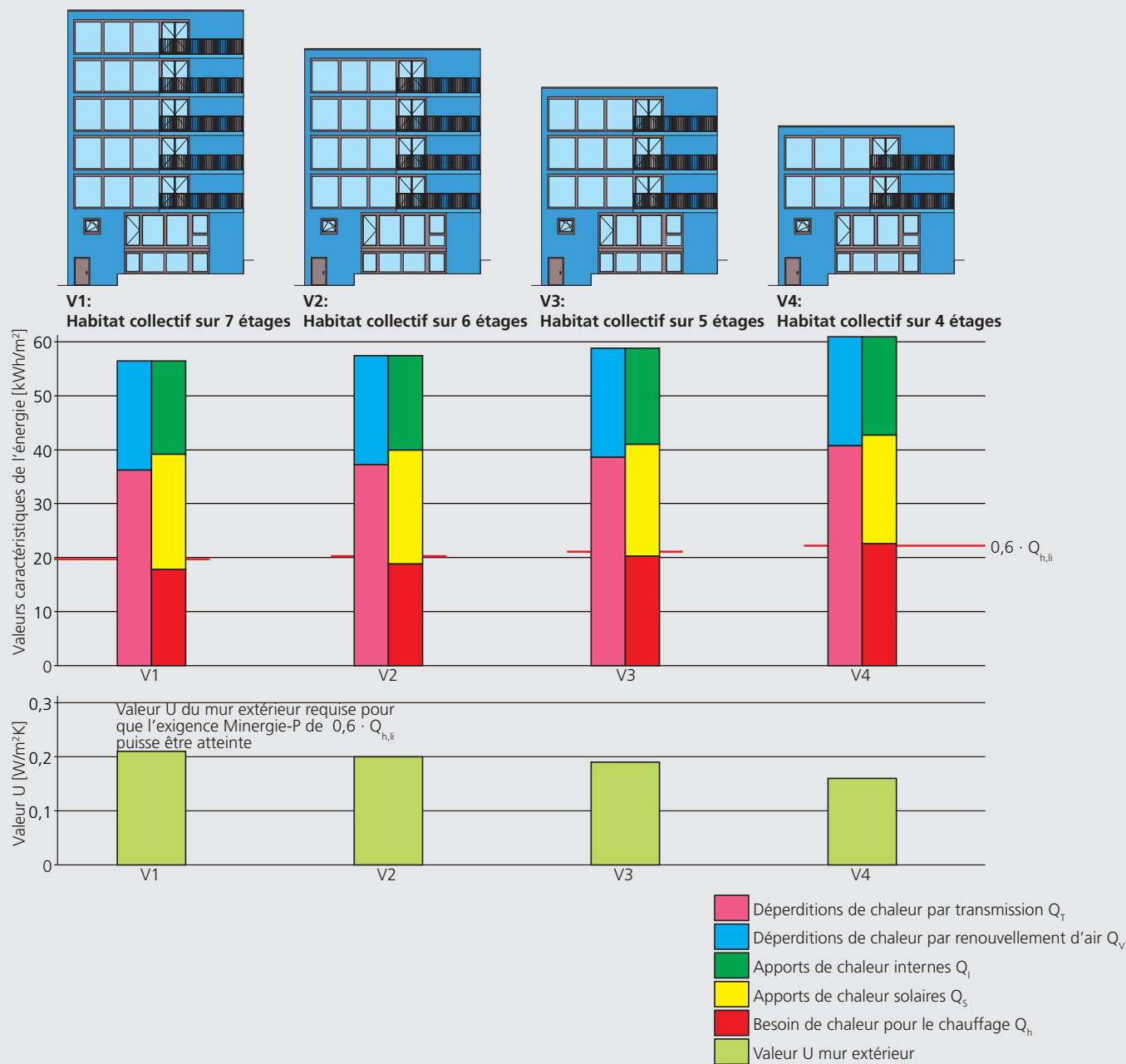
■ Dans toutes les autres variantes calculées dans les illustrations 84 et 85, des valeurs U de mur extérieur similaires de $0,16$ à $0,22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ sont possibles.

■ Une villa individuelle correspondant uniquement aux deux étages inférieurs et la délimitation avec le sous-sol de l'illustration 84 (non représentée sur l'illustration) doit également être considérée comme la «variante extrême». Pour que la valeur limite Q_h de $29,7 \text{ kWh/m}^2$ puisse être respectée, le mur extérieur devrait présenter une valeur U de $0,06 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ et engendrer par conséquent des apports énergétiques au lieu de déperditions énergétiques. Avec le concept choisi, aucune solution ne pourrait donc être trouvée lorsque l'habitation ne comprend que deux étages.





Illustr. 84: Quel est l'impact du nombre d'étages sur la capacité d'atteindre Minergie-P? Le bâtiment solitaire avec façade ouest opaque est étudié en tant qu'habitat collectif de 7 étages (V1: 6 appartements) jusqu'à un habitat collectif de 4 étages (V4: 3 appartements). Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h à atteindre augmentent à chaque fois qu'un étage est supprimé, sans que cela n'entraîne des avantages en ce qui concerne les éléments de construction requis (illustr. 85).



Illustr. 85: Afin de pouvoir satisfaire les exigences relatives aux besoins de chaleur pour le chauffage ($0,6 \cdot Q_{h,li}$), des compromis peuvent être réalisés au niveau de la valeur U du mur extérieur avec une plus grande compacité. Les 4 étages de la variante 1 exigent une valeur U de $0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; dans l'immeuble collectif de 7 étages, un mur extérieur ayant une valeur U de $0,21 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ peut déjà permettre de réduire les besoins de chaleur pour le chauffage. Avec 10 étages, la valeur U du mur extérieur augmenterait pour atteindre $0,23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Dans une maison d'habitation individuelle avec uniquement les deux étages inférieurs et une délimitation similaire au sous-sol (illustr. 84), la seule optimisation du mur extérieur ne peut être la solution; il serait nécessaire d'avoir une valeur U de $-0,06 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ et par conséquent un apport d'énergie pour respecter la valeur limite.

Stratégie pour l'optimisation et le justificatif de l'enveloppe thermique du bâtiment

Le calcul du bilan énergétique selon la norme SIA 380/1 ne devrait pas être uniquement une procédure de justification (impopulaire) pour la protection thermique existante. Dans l'idéal, le calcul SIA 380/1 a déjà permis au cours de la première phase du projet de remettre en question le projet sur le plan énergétique et de l'optimiser en conséquence.

Calcul en 3 phases

Dans la pratique, on est toujours confronté au même dilemme: on souhaiterait savoir le plus tôt possible dans l'évolution du projet si le standard Minergie-P peut être satisfait ou non. D'un autre côté, on ignore encore beaucoup de choses concernant la construction effective. Ainsi, on ne sait pas encore si le mur extérieur sera crépi ou pourvu d'un revêtement ventilé et l'on a décidé, dans le meilleur des cas, si les fenêtres seront en bois/métal ou en matière synthétique. Dans l'idéal, il serait intéressant de tenir compte de ce dilemme en procédant à un justificatif en trois phases:

- Calcul selon SIA 380/1 au cours de la phase d'avant-projet, avec des hypothèses concernant les valeurs caractéristiques des éléments de construction et des raccords qui peuvent également être atteintes avec certitude. Cela permet ainsi de choisir l'enveloppe thermique du bâtiment, l'orientation du bâtiment et la taille des fenêtres.

- Calcul selon SIA 380/1 au cours du projet de construction pour optimiser les éléments de construction et les raccords définitives et pour servir de base pour l'appel d'offres des fenêtres adaptées à Minergie-P.

- Justificatif de l'enveloppe de bâtiment effectivement prévue, après attribution des principaux travaux, notamment des fenêtres avec les vitrages correspondants. Seule cette version du calcul est suffisamment exacte pour une certification Minergie-P.

Utiliser une marge d'optimisation pour les murs extérieurs

Lorsque l'enveloppe thermique du bâtiment et, par conséquent, le facteur d'enveloppe A_{th}/A_E sont clairs, on sait déjà de combien doivent être les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h pour Minergie-P (Illustration 86). Lorsqu'une utilisation optimale d'énergies renouvelables est impossible, le critère de l'indice pondéré de dépense d'énergie influence éventuellement l'étendue des besoins de chaleur pour le chauffage Q_h . Les déperditions de chaleur par renouvellement d'air Q_v et les apports internes Q_i (personnes Q_{ip} et électricité Q_{ie}) ne sont pas influençables.

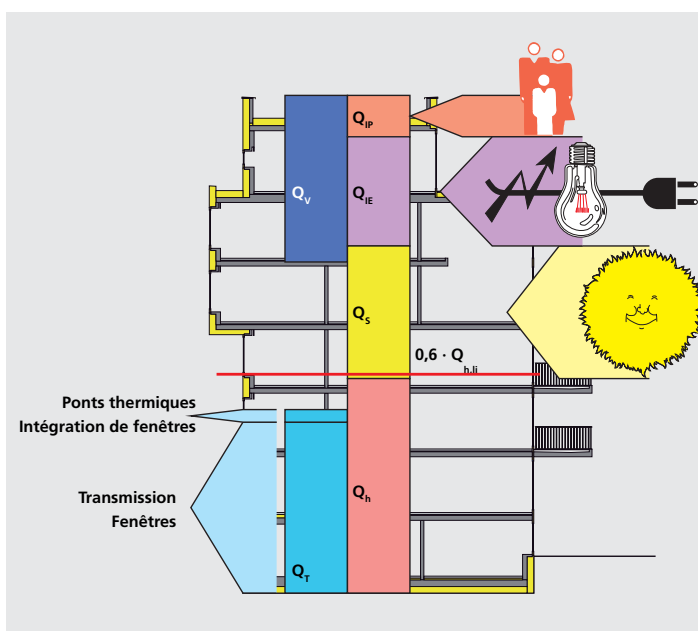
Choix des fenêtres

Dans le cas des fenêtres, il est possible d'influencer dans la planification les contraintes de montage (ponts thermiques), la taille et la répartition des fenêtres. Il s'agit alors de choisir le système de fenêtre (bois, bois/métal, matière synthétique), le fabricant de fenêtres, le vitrage que l'on souhaite ou que l'on peut s'offrir. Lors de la première phase du projet, il est conseillé de ne pas optimiser le projet avec la meilleure fenêtre possible (p.ex. utiliser les valeurs standard SIA 380/1 pour la valeur g (0,45) et les parts de surface vitrée (0,7)). Lorsque les fenêtres et les ponts thermiques associés sont définis au moment du montage, une grande partie du bilan énergétique est déjà fixée, les fenêtres jouent un rôle déterminant dans les déperditions de chaleur par transmission et offrent les avantages des apports de chaleur solaire (Illustration 86).

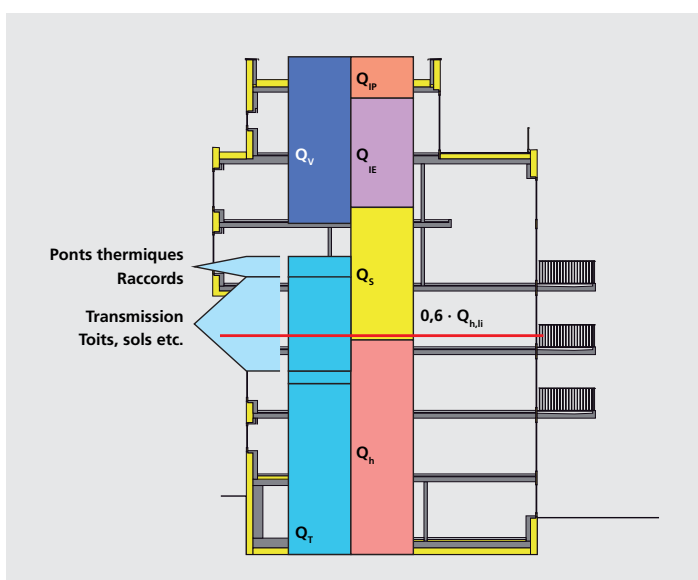
Isolation des toitures et des planchers sans compromis

En règle générale, il est judicieux de réduire au minimum les déperditions de chaleur au niveau des éléments de construction horizontaux (Illustration 87). Les toitures et les planchers doivent être isolés sans compromis à des valeurs U de $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Avec les déperditions par ponts thermiques au niveau des raccords optimisées, les déperditions de chaleur par transmission sont alors déterminées en grande partie.

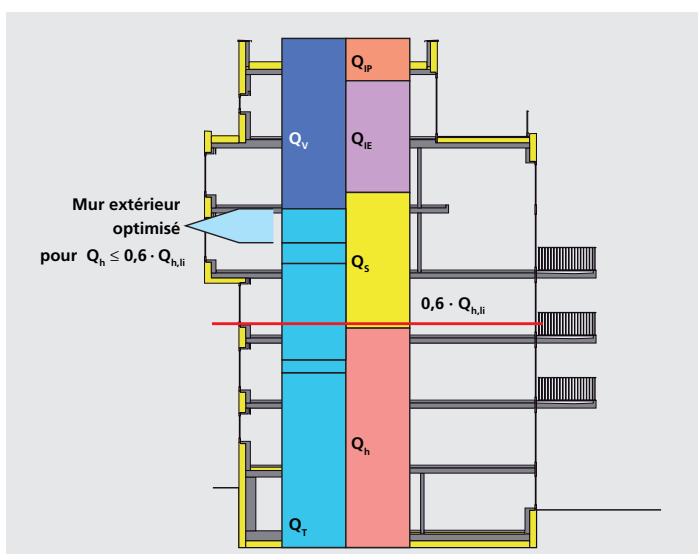
Illustr. 86: Le facteur d'enveloppe du bâtiment A_{th}/A_E définit l'exigence à respecter par les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h $0,6 \cdot Q_{h,li}$. Avec les composants non modifiables ou non influençables (déperditions de chaleur par renouvellement d'air et apports de chaleur internes dus aux personnes et à l'électricité), la majorité des facteurs d'influence sur le bilan énergétique est déterminée après le choix des fenêtres.



Illustr. 87: Les éléments de construction horizontaux (toitures et planchers) doivent faire l'objet d'une isolation thermique optimale et les ponts thermiques existants en cas de déperditions de chaleur par transmission doivent être pris en compte. Le vide encore ouvert au niveau des déperditions de chaleur par transmission représente la marge de manœuvre pour les murs extérieurs.



Illustr. 88: Lorsque le mur extérieur permet finalement d'atteindre ce bilan énergétique et que les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h sont inférieurs à la valeur limite pour Minergie-P de $0,6 \cdot Q_{h,li}$ l'exigence primaire relative à l'enveloppe du bâtiment est respectée.



**Mur extérieur requis pour Minergie-P**

L'obtention d'une très bonne isolation thermique est nettement plus coûteuse au niveau du mur extérieur qu'au niveau d'un toit plat. Le planificateur est donc généralement satisfait lorsqu'il peut bénéficier d'une certaine marge de manœuvre au niveau du mur extérieur. Lorsque toutes les valeurs caractéristiques déjà évoquées (fenêtres, toits, planchers, ponts thermiques) sont clairement définies, il peut encore y avoir des déperditions de chaleur par transmission qui peuvent être engendrées

par le mur extérieur. Formulé autrement: on connaît désormais clairement la valeur U que doit atteindre le mur extérieur pour Minergie-P (Illustration 88). Se pose alors la question de savoir s'il est faisable d'un point de vue architectural d'atteindre cette valeur U. Si la valeur U du mur extérieur est irréaliment basse, il est tout à fait possible, voire opportun, de renoncer à Minergie-P. Il convient éventuellement de mieux isoler les autres éléments de construction opaques et de choisir de meilleurs fenêtres et vitrages.

Illustr. 89: Maison familiale Mader (Minergie-P) à Schwarzenburg.

Installations techniques

Benno Zurfluh **Technique de chauffage et d'aération dans la maison Minergie-P**

Les installations de chauffage, d'aération et de climatisation ont pour mission de garantir un climat ambiant agréable à l'intérieur du bâtiment, indépendamment du climat extérieur. Cela s'applique également aux bâtiments réalisés conformément au standard Minergie-P. La conception et le dimensionnement des installations techniques reposent sur les normes et directives correspondantes de la SIA et de la SICC. En outre, pour les utilisations spéciales, il convient de respecter les prescriptions des organisations professionnelles.

Il peut être judicieux, surtout pour les bâtiments qui ne relèvent pas des catégories habitat collectif et habitat individuel, de contrôler et d'optimiser le dimensionnement des installations CVCS à l'aide de simulations ponctuelles. C'est aussi le cas notamment pour l'évaluation de la protection thermique en été.

En raison du léger assouplissement de l'exigence primaire et du maintien de l'indice pondéré de dépenses d'énergie, le défi de Minergie-P ne se situe plus au niveau de l'enveloppe thermique mais au niveau des installations techniques du fait de faibles valeurs limites. Il est donc absolument indispensable d'utiliser des composants d'installations techniques compatibles entre eux, de haute qualité, efficaces sur le plan énergétiques et optimisés. Ils doivent être dimensionnés aussi précisément que possible. Les réserves doivent être réduites au minimum.

Quatre variantes

Les quatre illustrations (90 à 93) montrent pourquoi les faibles valeurs limites constituent un défi pour le concepteur d'installations techniques. Dans tous les exemples des quatre illustrations, l'indice pondéré de dépense d'énergie pour la chaleur est

représenté en fonction du facteur d'enveloppe (A_{th}/A_E). Les besoins en énergie finale totaux (pondérés) sont constitués comme suit:

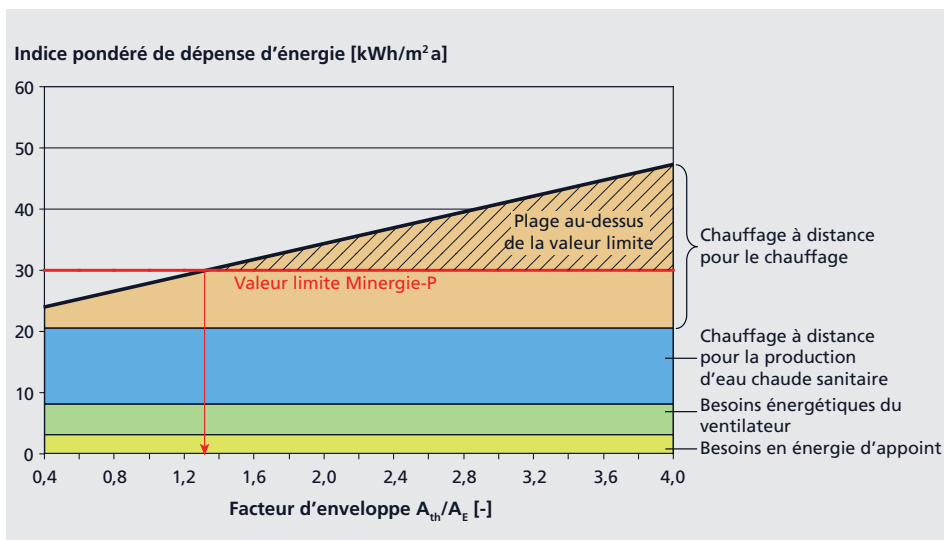
Energie d'appoint pour l'exploitation des installations techniques (pompes, commande etc.) 1,5 kWh par m² de surface de référence énergétique (SRE), pondérée avec le facteur 2 pour l'électricité; au total 3 kWh/m².

Energie du ventilateur pour l'aération, 2,5 kWh/m² de SRE, pondération 2,0; au total 5 kWh/m² de SRE.

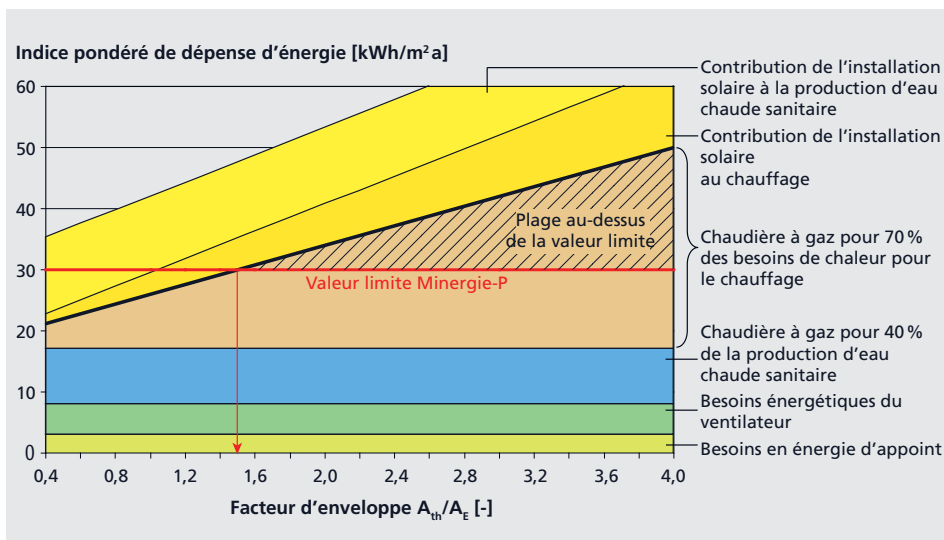
Besoins énergétiques pour la production d'eau chaude sanitaire avec 75 MJ/m² de SRE selon utilisation standard SIA 380/1:2009 pour immeubles collectifs, multiplié par le facteur de pondération correspondant et divisés par la fraction utile annuelle de la production de chaleur. Besoins d'énergie pour le chauffage des locaux selon l'exigence primaire pour habitat collectif Minergie-P, divisés par la fraction utile annuelle et multiplié par le facteur de pondération correspondant.

Remarque: le calcul et l'évaluation des besoins de chaleur pour le chauffage d'un bâtiment Minergie-P sont basés sur la valeur standard du débit d'air neuf thermiquement actif ($\dot{V}_{th,st}$). En revanche, le débit d'air neuf effectif thermiquement actif effectif ($\dot{V}_{th,eff}$) est déterminant pour le calcul de l'énergie finale. Pour la conversion, une valeur forfaitaire de 8 kWh/m² est déduite des besoins de chaleur pour le chauffage à $\dot{V}_{th,st}$ quel que soit le facteur d'enveloppe pour permettre la compensation entre les deux modes de calcul.

Illustr. 90 à 93: Indice pondéré de dépense d'énergie pour la chaleur pour quatre variantes d'installations techniques. La qualité de l'enveloppe du bâtiment est identique dans les quatre variantes, c'est-à-dire que les besoins de chaleur pour le chauffage effectifs $\dot{V}_{th,eff}$ correspondent à la valeur limite de la norme SIA 380/1:2009. L'enveloppe du bâtiment satisfait ainsi parfaitement l'exigence primaire selon Minergie-P.



Illustr. 90: Chauffage à distance.



Illustr. 91: Chaudière à gaz avec capteurs solaires.

Illustration 90: Bâtiment avec chaleur à distance (p.ex. récupération de chaleur d'une UIOM) pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude.

■ Coefficient de performance annuel chaudière à gaz pour la production d'eau chaude: 1,0

■ Facteur de pondération chaleur à distance: 0,6

■ Facteur de pondération électricité: 2,0

Conclusion: Les bâtiments avec un facteur d'enveloppe supérieur à 1,3 n'atteignent pas la valeur limite de Minergie-P sans mesures supplémentaires une meilleure isolation thermique, resp. d'autres installations pour l'utilisation d'énergies renouvelables.

Illustration 91: Bâtiment avec chaudière à gaz et installation de capteurs solaires qui couvrent 30 % des besoins d'énergie

pour le chauffage des locaux et 60 % des besoins pour la production d'eau chaude.

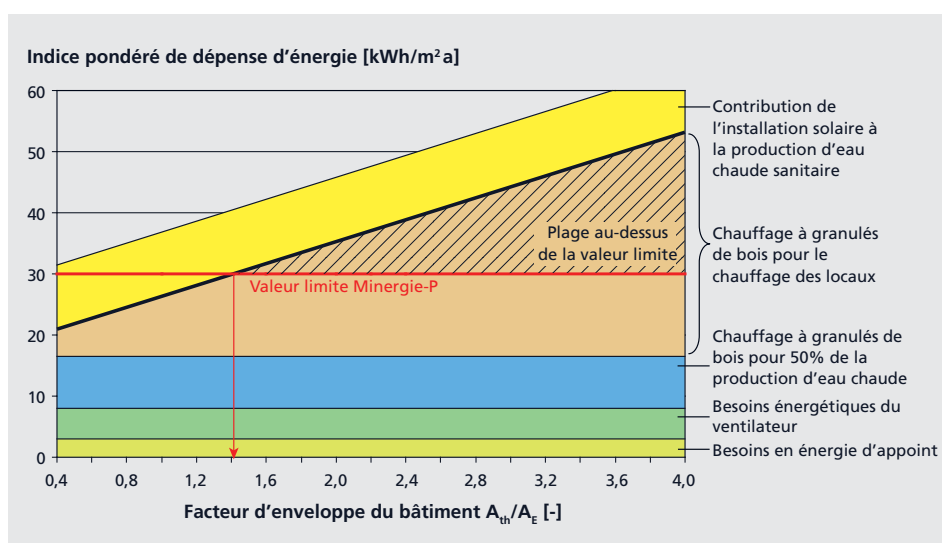
■ Coefficient de performance annuel chaudière à gaz pour la production d'eau chaude: 0,92; pour le chauffage: 0,95

■ Facteur de pondération gaz naturel: 1,0

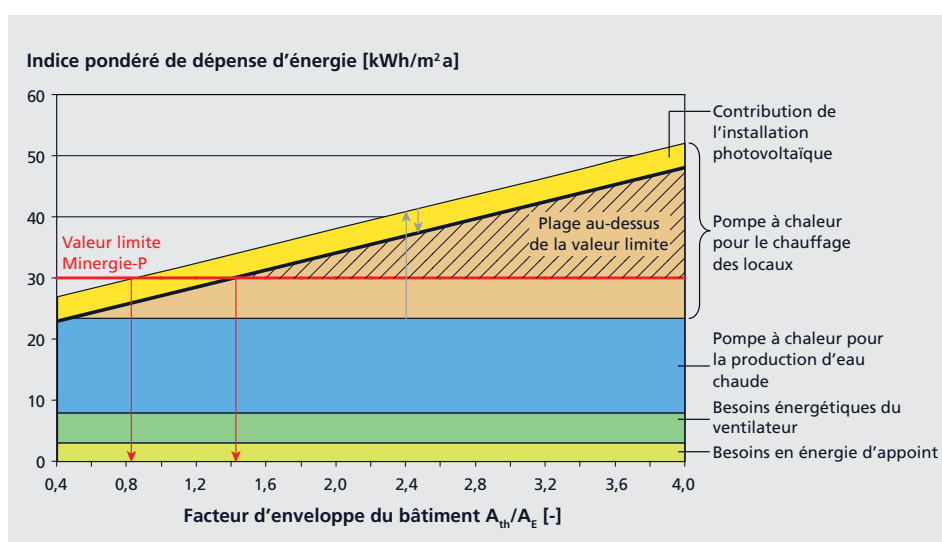
■ Facteur de pondération électricité: 2,0

Conclusion: Les bâtiments avec un facteur d'enveloppe inférieur à 1,5 satisfont la valeur limite de Minergie-P avec l'installation de capteurs. Si un bâtiment est de construction moins compacte, l'enveloppe thermique doit être mieux isolée ou des énergies renouvelables doivent être utilisées.

Illustration 92: Bâtiment avec chaudière à granulés pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude. Installation de capteurs solaires supplémentaire qui



Illustr. 92: Chaudière à granulés et capteurs solaires.



Illustr. 93: Pompe à chaleur avec installation photovoltaïque.

couvre 20 % des besoins d'énergie pour la production d'eau chaude. (Il s'agit en premier lieu d'aborder l'aspect mécanique car l'installation solaire occuperait une surface entre 2 et 3 m² dans une maison familiale.)

■ Coefficient de performance annuel chaudière à granulés: 0,85

■ Facteur de pondération granulés: 0,5

■ Facteur de pondération électricité: 2,0

Conclusion: Des bâtiments avec un facteur d'enveloppe supérieur à 1,1 n'atteignent pas la valeur limite de Minergie-P sans l'installation de capteurs pour la production d'eau chaude (couverture de 20 %). Avec l'installation solaire, des formes de bâtiments moins compactes se situent également dans la plage de valeur limite (facteur d'enveloppe jusqu'à 1,8).

Illustration 93: Bâtiment avec pompe à

chaleur pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude.

Une installation photovoltaïque fournit en plus env. 2 kWh/m² d'électricité par SRE. L'installation PV occupe une surface de 2 % de la SRE.

■ Coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage des locaux: 3,1

■ Production d'eau chaude: 2,7

■ Facteur de pondération électricité: 2,0

■ Facteur de pondération électricité PV: -2,0

Conclusion: Sans installation PV, le bâtiment devrait être très compact (facteur d'enveloppe 0,8). Pour les immeubles collectifs Minergie-P moins compacts, il est nécessaire d'intégrer, en plus d'une pompe à chaleur, une autre installation d'exploitation des énergies renouvelables.

Chauffage

Production de chaleur

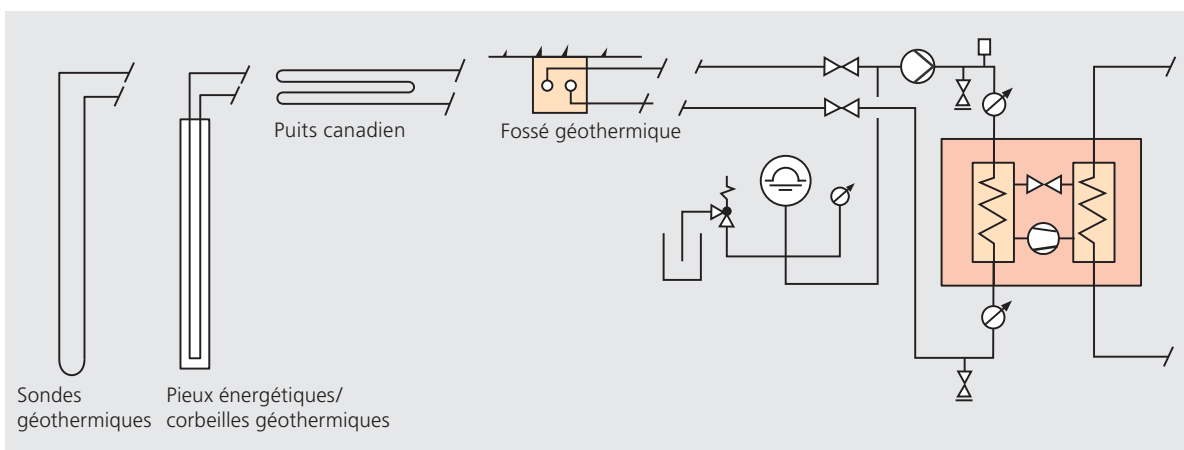
Dimensionnement

Le dimensionnement de la production de chaleur repose sur les normes SIA 384.201 et 384/1. Pour les immeubles collectifs, il convient de prendre en compte les besoins

Tableau 11: Les énergies renouvelables conviennent bien aux maisons Minergie-P – les systèmes de chauffage les plus courants.

Minergie-P: systèmes de chauffage adaptés	
Electricité:	Chaleur du sous-sol (exemples d'application sur illustr. 94)
Pompe à chaleur	avec utilisation de l'air extérieur
	Nappe phréatique
	Air extrait du logement
Option: couverture des besoins d'électricité par installation photovoltaïque. L'électricité verte (certifiée) ou les modèles de contracting avec installations photovoltaïques ne sont pas pris en compte dans le bilan énergétique Minergie-P.	
Bois	Chaudière à bûches ou à granulés
	Foyer indépendant à bûches ou à granulés
	Centrale de chauffage à distance (stirling)
Rayonnement solaire:	Production d'eau chaude
Installation de capteurs	Production d'eau chaude + chauffage des locaux
Gaz naturel	Couplage chaleur-force, pompe à chaleur

Illustr. 94: Raccordements possibles d'une pompe à chaleur à des systèmes géothermiques.



de puissance de la production d'eau chaude sanitaire. À partir de 6 à 8 unités d'habitation, ils peuvent être déterminants pour le dimensionnement de la production de chaleur. Il est impossible d'atteindre la valeur limite de Minergie-P avec des modes de production de chaleur purement fossiles en raison de la pondération lors de l'évaluation de l'indice de dépense d'énergie (illustration 91). Si l'on veut respecter les valeurs limites, l'utilisation de l'énergie fossiles n'est possible que pour des installations CCF respectivement en combinaison avec l'énergie solaire thermique.

Pompes à chaleur

Les pompes à chaleur sont les générateurs de chaleur les plus utilisés dans les bâtiments Minergie-P. Le principe de la pompe à chaleur permet, en fonction de la source de chaleur, d'utiliser 60 à 80 % de la chaleur ambiante pour chauffer les bâtiments. Cette chaleur de l'environnement n'est pas prise en compte dans le calcul de l'indice pondéré de dépense d'énergie. La part restante est, en général, celle du courant électrique utilisé pour l'entraînement du compresseur. Bien que ces besoins d'électricité soient obligatoirement intégrés dans le calcul de la valeur limite avec le facteur 2, la consommation d'énergie à prendre en compte reste faible. Si une pompe à chaleur est utilisée pour le chauffage du bâtiment, elle devrait également être utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas aussi, la majeure partie de l'énergie de l'environnement donne lieu à une situation de départ optimale pour at-

teindre le standard Minergie-P. Pour des raisons d'hygiène, l'eau chaude sanitaire dans les habitations doit être chauffée au moins une fois par semaine à environ 60 °C. Dans cette optique, soit la pompe à chaleur fonctionne à un niveau de température supérieur, soit un chauffage d'appoint est installé, par ex. un corps de chauffe électrique. Dans les autres utilisations, telles que les écoles ou les homes, les systèmes de production d'eau chaude sanitaire doivent garantir en permanence une température d'eau chaude d'environ 60 °C (pompe à chaleur pour eau chaude sanitaire, chauffage d'appoint avec chaudière à bois, à gaz ou à mazout, combiné au maintien en température des conduites de distribution et des colonnes montantes [1]). En raison de la bonne isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment et de la lenteur prononcée qui en découle des déperditions de chaleur, les temps de délestage de l'approvisionnement d'électricité pour les petits bâtiments n'ont que très peu d'influence sur le dimensionnement de la pompe à chaleur. Pour les bâtiments plus importants et les affectations spéciales, il convient de tenir compte des temps de délestage lors de la planification.

Le coefficient de performance annuel (COP) à indiquer dans le formulaire justificatif peut être calculé à l'aide du programme d'aide PACesti (à télécharger sur www.minergie.ch). Les données nécessaires (valeurs de COP) figurent sur les documents des fabricants ou sur les protocoles de mesure des organismes de contrôle (p. ex. www.wpz.ch). Les valeurs COP pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont différentes. Elles doivent également être indiquées séparément dans le formulaire justificatif. Des pompes à chaleur de tous types avec un échelonnement serré des puissances sont disponibles sur le marché. Cela permet de réaliser un dimensionnement précis suivant les besoins de puissance nécessaires (y c. pour l'eau chaude sanitaire). Lors du calcul de la consommation effective d'électricité pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, il convient de tenir compte du fait

que la consommation électrique dans le formulaire justificatif a été calculée avec le facteur de pondération 2! Par conséquent, la consommation d'énergie effective ne correspondra pas à l'énergie finale pondérée dans le justificatif Minergie. Les sources de chaleur pouvant être utilisées avec des pompes à chaleur sont les suivantes:

- Air extérieur
- Chaleur du sous-sol (exemples d'application sur illustration 94)
- Eaux de surface et de la nappe phréatique
- Rejets thermiques

En principe: plus le niveau de température de la source de chaleur est élevé, plus le niveau de température du dégagement de chaleur est bas (température de départ) et meilleure est l'efficacité (COP) de la pompe à chaleur.

Technique solaire

Une installation solaire thermique peut être utilisée pour le chauffage d'appoint ou uniquement pour la production d'eau chaude sanitaire. Le dimensionnement de l'accumulateur pour la combinaison optimale des différents modes de production de chaleur est extrêmement important. Les différents niveaux de température des producteurs et des consommateurs de chaleur doivent être vérifiés en pleine charge tout comme en charge partielle, l'emplacement des branchements sur l'accumulateur pour le stockage et la restitution doivent être déterminés en fonction. Les installations solaires thermiques (monovalentes) pour le chauffage complet du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire exigent une grande expérience pour le dimensionnement de l'accumulateur annuel (stratification, comportement à la mise en charge et décharge). La pose d'une installation photovoltaïque permet de produire de l'électricité directement pour la pompe à chaleur. Le réseau d'électricité sert alors d'accumulateur. Avec un COP de 4,2 par exemple, 1 kWh d'électricité solaire permet de produire 4,2 kWh de chaleur pour le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire. Si l'on compare la production électrique annuelle de l'installation photovoltaïque avec

Une pompe à chaleur dont l'air extérieur est l'unique source de chaleur est insuffisante pour Minergie-P. Pour d'autres informations détaillées sur les pompes à chaleur, consulter le Manuel Pompes à chaleur, Faktor Verlag, Zurich, 2009.

Tableau 12: Comparaison de systèmes de chauffage de toute la maison avec chaudière à bois et d'appareils compacts de pompes à chaleur pour une maison d'habitation individuelle Minergie P présentant une surface de référence énergétique de 200 m²

	Chauffage de toute la maison avec chaudière à bois	Appareil compact de pompe à chaleur
Consommation d'énergie pour le chauffage (sans eau chaude et électricité pour l'aération)	2 à 3 stères de bois par an. (maison individuelle)	1300 kWh à 1800 kWh d'électricité par an.
Charge de travail	Env. 15 kg de bois les jours les plus froids.	–
Distribution de chaleur	Distribution libre, appoint éventuel avec satellite ou absorbeur. Suivant solution différences de température entre les locaux.	Chauffage à air chaud ou au sol (chauffage à air chaud seulement jusqu'à 10 W/m ²). Répartition relativement régulière de la température dans tous les locaux. Chauffage à air chaud: pas de régulation individuelle de la température
Dégagement de chaleur	Forte proportion du rayonnement thermique agréable.	
Locaux isolés (salle de bains, etc.)	Relativement problématique	Avec répartition hydraulique du chauffage, bonne alimentation garantie. Chauffage à air chaud: air pulsé dans la salle de bains.
Réserve de puissance	Puissance suffisamment élevée. Même en cas de températures extérieures très basses, il est possible d'atteindre une température ambiante nettement supérieure à 20 °C.	La plupart du temps, pompe à chaleur de faible puissance. Eventuellement corps de chauffe électrique supplémentaire pour charges de pointe en cas de températures inférieures à la température de base (MoPEC 2008). En cas de faibles températures extérieures, la température ambiante possible n'est souvent que de 20 °C env.
Absence pour vacances	Pas de problèmes avec foyers à granulés. Consommation d'énergie pour régulation de la température avec une chaudière électrique au cours d'une semaine de février: env. 200 kWh.	Pas de problème.
Production d'eau chaude sanitaire	P.ex. installation solaire avec un taux de couverture d'au moins 60 %. Appoint si possible par poêle à bois notamment en cas de chauffage à granulés.	Avec pompe à chaleur. En hiver dans la pratique parfois avec corps de chauffe électrique (voir aussi Réserve de puissance).
Etude du projet	Le choix du système doit intervenir au cours de la première phase de planification.	Faire attention à la quantité d'air minimale.
Enveloppe du bâtiment, mesures de construction	La maison doit être adaptée à une distribution de chaleur libre.	Pour le chauffage à air chaud: plan compact.
Propriété du logement, vente et location	Les résidents doivent accepter la chaudière à bois.	Aucune restriction.

les besoins annuels de la pompe à chaleur, une installation photovoltaïque relativement petite (10 à 15 m²) dans une habitation individuelle Minergie-P permet d'atteindre un taux de couverture élevé. L'électricité générée via une installation photovoltaïque est multipliée par 2 et déduite de l'électricité consommées dans le justificatif Minergie-P. Les installations dont le rendement n'est pas directement profitable aux utilisateurs ne doivent pas être prises en compte dans la demande Minergie-P – en cas de doute, s'adresser à l'office de certification pour plus de renseignements.

Chauffage au bois (bûches, granulés, plaquettes de bois, poêle)

Le bois est une source d'énergie renouvelable et écologique qui n'est pas encore épuisée en Suisse. Le bois est renouvelable et sa combustion dans les chaudières est presque neutre en CO₂. Cela explique notamment pourquoi l'agent énergétique bois est évalué avec un facteur de pondération de 0,7 dans le justificatif Minergie-P. Ainsi, la situation de départ pour atteindre les exigences Minergie-P est similaire à celle des pompes à chaleur.

Le Module Foyers à feu de bois Minergie peut vous aider à choisir le chauffage à bois qui convient. Il est téléchargeable sur www.minergie.ch → Standards & Technique → Modules → Foyers à feu de bois.

Chaudières à bûches

Les chaudières à bois ont une limite inférieure de puissance d'environ 10 kW et leur puissance de sortie ne peut être réglée que de manière limitée.

Elles sont donc plutôt destinées aux grands bâtiments (p. ex. immeubles locatifs de 3 à 12 logements). Dans les petits immeubles, la différence entre la puissance de sortie de la chaudière et les besoins de puissance du bâtiment doit être compensée par un accumulateur relativement grand.

Chaudière à granulés

Avec les granulés, le chauffage à bois a été automatisé également dans la petite plage de puissance et une régulation aisée. Comme le montrent de nombreux

exemples de réalisations, les chauffages centraux à granulés conviennent parfaitement aux petits et grands bâtiments Minergie-P. Le spectre de puissance des chaudières à granulés s'étend de 8 kW environ à plusieurs centaines de kilowatts pour les très grandes installations.

Poêles

Les agrégats ayant une part d'accumulation relativement importante s'avèrent particulièrement adaptés aux bâtiments Minergie-P de la catégorie habitat individuel. Cette capacité permet aux poêles de restituer la chaleur sur une plus longue période et de réduire le risque de surchauffe. Le module Minergie Foyers à feu de bois satisfait ces exigences de qualité. Les poêles sont disponibles sous forme de poêles de faïence, à bûches ou à granulés.

Distribution et dégagement de la chaleur

Dimensionnement

Afin de garantir un dimensionnement précis des surfaces de chauffage, il convient de calculer les besoins de puissance thermique par local selon SIA 384.201. Les déperditions de chaleur peuvent être réduites en choisissant des températures de départ basses. Lors de l'utilisation de systèmes solaires actifs, de faibles températures de départ optimisent l'utilisation de l'énergie solaire à des fins de chauffage.

Chauffage au sol

Les besoins faibles de puissance permettent de dimensionner des systèmes de chauffage au sol avec de très faibles températures de départ (inférieures à 35 °C). En général, les exigences de confort peuvent également être satisfaites dans les locaux de petite surface avec des besoins de puissance thermique plutôt élevés tels que les salles de bain par exemple. Dans les grands locaux non exposés, le chauffage au sol doit éventuellement couvrir une seule partie du local afin de couvrir les besoins de puissance thermique. Le solde de la surface sert de masse thermique pour le rayonnement solaire direct surtout au cours des périodes de transition. De faibles

températures de départ dans les systèmes de chauffage au sol associés à des pompes à chaleur à sonde géothermique permettent d'atteindre des coefficients de performance annuels élevés. Les thermostats ambiants peuvent même être supprimés dans les maisons d'habitation individuelles disposant d'un seul groupe de chauffage. En effet, les faibles températures de départ entraînent un effet d'autorégulation.

Radiateurs

Lorsque l'on utilise des radiateurs pour diffuser la chaleur, il faut noter que de basses températures de départ (inférieures à 40 °C) entraînent de grandes surfaces de chauffage. Les radiateurs dimensionnés ainsi sont donc «tièdes» même à de faibles températures extérieures. Bien que les radiateurs diffusent de la chaleur même avec des températures de départ inférieures à 35 °C, ils sont «froids» au toucher. Cela peut créer des situations insatisfaisantes surtout lors de l'utilisation de sèche-serviettes dans les salles de bain.

L'utilisation de très bons vitrages permet en général de supprimer les courants d'air froid générés par la surface froide des fenêtres même par temps froid. Sauf en cas de vitrages sur plusieurs étages, les radiateurs ne doivent donc pas être placés sous les fenêtres. Les locaux chauffés en sous-sol, tels que les locaux de bricolage par exemple, sont souvent chauffés par radiateurs. Le fait de renoncer au chauffage au sol dans le sous-sol permet de supprimer le facteur de correction, déjà évoqué, dans le justificatif thermique et n'entraîne donc pas une augmentation des besoins de chaleur. De plus, les aspects de conception jouent souvent dans ce cas un rôle secondaire. Une régulation individuelle des locaux peut être assurée en installant simplement des vannes thermostatiques. Autre solution possible: la combinaison de radiateurs (départ) avec un chauffage au sol (retour).

Diffusion de la chaleur dans la salle de bain

En cas de systèmes de diffusion de chaleur à faibles températures de départ, il est impossible dans certains cas d'atteindre la

température ambiante souhaitée dans une salle de bain à un emplacement défavorable thermiquement. Par conséquent, on installe souvent, dans les maisons Minergie-P, un sèche-serviettes électrique ou un radiateur électrique. Un interrupteur à horloge et thermostat empêchent que ce radiateur ne soit trop énergivore. Sur la feuille «Production» du justificatif, il convient de déclarer la consommation d'électricité nécessaire en tant que part «Chauffage électrique direct».

Conduites de distribution

Les conduites de distribution jusqu'aux systèmes de diffusion de la chaleur devraient s'étendre sur une distance la plus courte possible à l'intérieur du périmètre d'isolation et être isolés conformément aux prescriptions voire au-delà. Cela permet de réduire au minimum les déperditions par diffusion.

Consommation électrique des équipements auxiliaires

On entend par consommation pour équipements auxiliaires toutes les consommations d'électricité nécessaires pour maintenir en fonctionnement ou commander les installations de chauffage, de refroidissement, de déshumidification, les installations solaires et les installations de production d'eau chaude sanitaire. En voici quelques exemples:

- Circulateurs (chauffage, refroidissement)
- Pompes de circulation et bandes chauffantes
- Pompes solaires
- Dégivrage électrique éventuellement requis de l'échangeur de chaleur de la PAC. Exemple d'une maison d'habitation individuelle: raccordement au chauffage à distance, installation solaire thermique. Besoins de puissance du circulateur pour le chauffage: 30 W; besoins de puissance du circulateur pour installation solaire: 50 W; pas de circulation pour l'eau chaude. Calcul selon modèle Aide à l'utilisation formulaire justificatif version 11.
- Besoins d'énergie du circulateur pour le chauffage:
 $0,03 \text{ kW} \cdot 2700 \text{ h/a} = 81 \text{ kWh/a}$

■ Besoins d'énergie du circulateur pour installation solaire: $0,05 \text{ kW} \cdot 2000 \text{ h/a} = 100 \text{ kWh/a}$

■ Total chauffage et installation solaire: 181 kWh/a (dans le justificatif, à saisir à la ligne E27 de la feuille «Entrées»).

Aération

Traitement de l'air

La norme Minergie-P exige une installation de ventilation dans toutes les catégories de bâtiments. Les installations dans les bâtiments d'habitation sont généralement des installations d'aération douce. Ces installations simples fonctionnent selon le principe en cascade: l'air extérieur est filtré et passe à travers l'échangeur de chaleur. Le ventilateur d'air neuf le pulse dans les différentes pièces via le système de distribution. À l'intérieur du logement, l'air est pulsé via le couloir dans la cuisine, la salle de bain et les toilettes. Là, l'air chargé d'humidité et d'odeurs est aspiré et amené à l'appareil d'aération via les conduites d'air vicié et le collecteur d'air. Le filtre à air vicié protège l'appareil de l'encrassement. Le système de récupération de chaleur transmet à l'air neuf une part importante de la chaleur contenue dans l'air vicié. Le ventilateur d'air vicié expulse celle-ci vers l'extérieur après qu'elle ait transmis sa chaleur à l'air neuf.

Exigences générales

■ La conception et le dimensionnement de l'installation d'aération douce respectent généralement le cahier technique SIA 2023 [4] (Ventilation des habitations) ou la norme SIA 382/1 [5].

■ Conduites de distribution d'air étanches, classe d'étanchéité C au minimum.

■ Les conduites doivent pouvoir être nettoyées avec des moyens simples. Elles ne doivent donc pas mesurer plus de 15 m. Une inspection et, si besoin, un nettoyage ciblé sont nécessaires à peu près tous les 10 à 15 ans.

■ Les prises d'air neuf ne doivent pas se trouver directement au sol ou dans un puits de lumière. L'air ne doit être pollué ni par des micro-organismes, ni par de la poussière

ou des odeurs (p.ex. court-circuit avec l'air vicié).

■ Prévoir une récupération de chaleur par échangeurs de chaleur à plaques ou rotatifs. Cela permet de récupérer près de 80 % de la chaleur.

■ Outre la chaleur, les appareils avec échangeurs rotatifs respectivement échangeurs à plaques récupèrent également l'humidité. En général, avec des échangeurs enthalpiques de ce type, l'humidité relative ne passe pas sous les 30 %.

■ Selon la norme SIA 382/1, les installations d'aération douce doivent être équipées de filtres de classe F7 ou supérieure. Tous les filtres doivent être remplacés une à quatre fois par an. Les filtres à air des installations d'aération douce sont généralement des filtres à usage unique. Ces filtres ne peuvent pas être nettoyés.

■ Pour diminuer le plus possible les pertes de pression, il convient de dimensionner les conduites pour de faibles vitesses d'écoulement (max. $2,5 \text{ m/s}$) et les composants de l'installation de manière généreuse.

■ Le niveau sonore des installations d'aération douce ne doit pas dépasser 25 dBA dans les chambres.

Puits canadien

L'air pulsé peut être chauffé ou refroidi par l'énergie de la terre. Outre un échangeur de chaleur sol-air, il est également possible d'utiliser un échangeur de chaleur sol-eau glycolée. Dans ce cas, des tubes résistants sont enterrés à une profondeur d'environ 2 m (illustration 95). La chaleur de la terre est transmise au circuit d'eau glycolée, puis à l'air pulsé par le biais d'un échangeur de chaleur à ailettes. Les puits canadiens présentent les avantages suivants:

Tableau 13: Exemple d'une installation d'aération simple pour un petit immeuble de bureaux.

Installation d'aération simple pour un petit immeuble de bureaux, SRE = 500 m², 40 personnes avec un débit d'air extérieur de 36 m³/h, génère les valeurs suivantes:

	Débit d'air	Durée de fonctionnement	Besoins de puissance
Niveau 3	1440 m ³ /h	1040 h/a (4 h/d)	480 W
Niveau 2	900 m ³ /h	780 h/a (3 h/d)	250 W
Niveau 1	500 m ³ /h	780 h/a (3 h/d)	120 W
Rendement de la RC: 80 %			

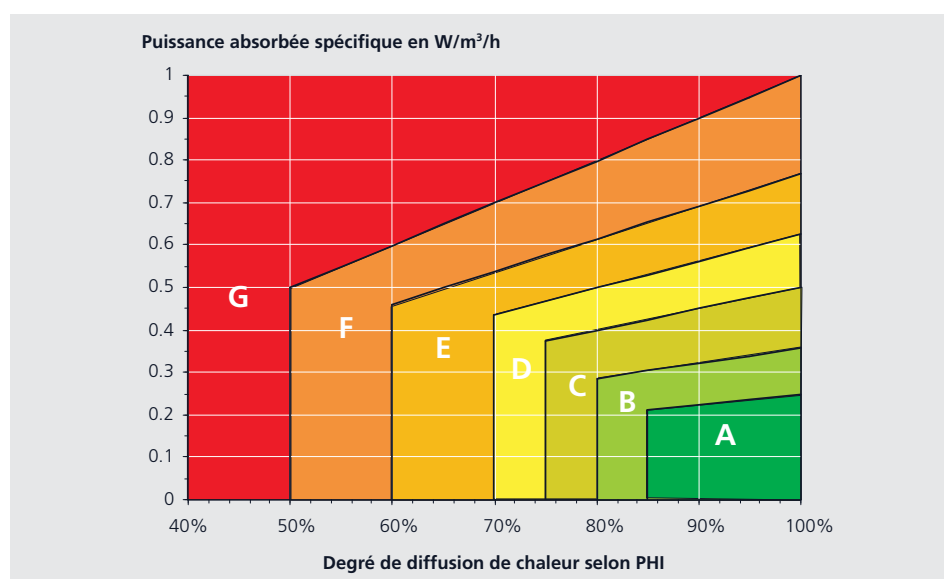
- Mesures antigivrage simples
 - Moins d'humidité et de condensat dans l'appareil d'aération
 - Une température de l'air pulsé plus élevée et, par conséquent, un meilleur confort thermique en fonction des prises d'air pulsé
 - Apports de chaleur minimes
 - Effet de refroidissement minime en été (attention: il ne s'agit pas d'une installation de climatisation!) du fait de l'interruption de la récupération de chaleur (RC) avec système de bypass
 - Grâce au préchauffage, le filtre à air neuf reste plus sec et, par conséquent, dans un meilleur état sur le plan de l'hygiène.
- Vous trouverez des informations détaillées sur la conception et le dimensionnement des installations d'aération douce et les puits canadiens dans les ouvrages de Hein-

rich Huber («Aération douce» et «Ventilation de confort», Faktor Verlag, Zurich, www.faktor.ch).

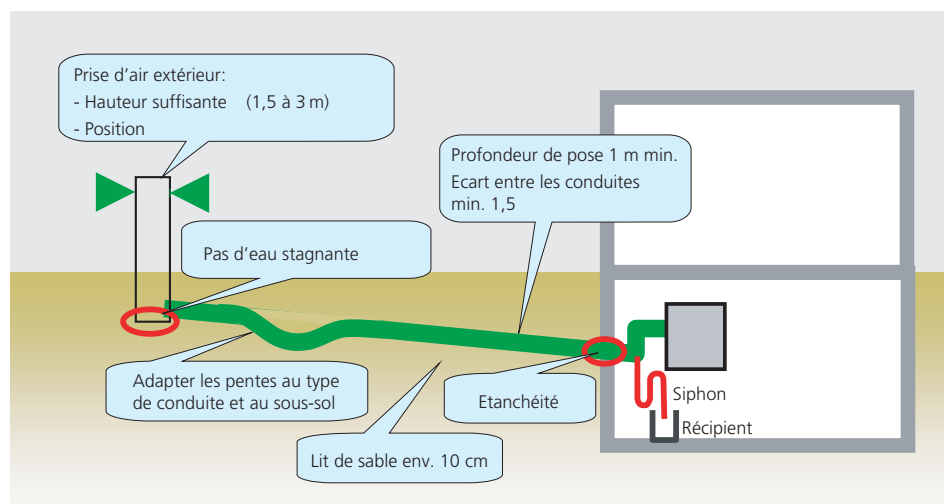
Certification des appareils

Il existe, depuis fin 2008, une déclaration facultative pour les appareils d'aération douce jusqu'à un débit de 600 m³/h. Pour la première fois, l'efficacité thermique et électrique (illustration 95) ainsi que les caractéristiques acoustiques et hygiéniques sont directement comparables. Le nombre d'appareils déclarés est en constante augmentation. Un registre complet de fournisseurs et d'appareils est consultable sur www.luftwechsel.ch.

Illustr. 95: Echelle pour l'évaluation énergétique des appareils déclarés. Le récapitulatif des appareils déclarés est disponible sur le site Internet luftwechsel.ch.



Illustr. 96: Points à retenir pour la pose de registres terre-air



Installations d'aération avec chauffage (chauffage à air chaud)

Grâce aux exigences élevées imposées à l'enveloppe du bâtiment pour les immeubles selon la norme Minergie-P, les besoins de puissance thermique spécifique peuvent être réduites à moins de 10 W/m². Cette valeur basse permet de proposer en plus des systèmes de distribution et de diffusion de chaleur, tels que le chauffage au sol ou les radiateurs, un chauffage à air chaud. Dans ce cas, la quantité d'air nécessaire pour des raisons d'hygiène doit être suffisante pour chauffer également l'intérieur de l'habitation. On peut alors généralement se passer d'un système de diffusion de la chaleur supplémentaire. Les besoins de puissance thermique spécifique servent de valeur moyenne pour toutes les zones chauffées à l'air. La plupart des programmes de calcul certifiés SIA-380/1 peuvent calculer les besoins de puissance thermique spécifique. Celle-ci peut être supérieure dans les locaux thermiquement défavorables. Dans ce cas, il peut être éventuellement nécessaire de garantir le confort avec des sources de chaleur supplémentaires. La norme SIA 384.201 sert également de base pour le dimensionnement du chauffage à air chaud.

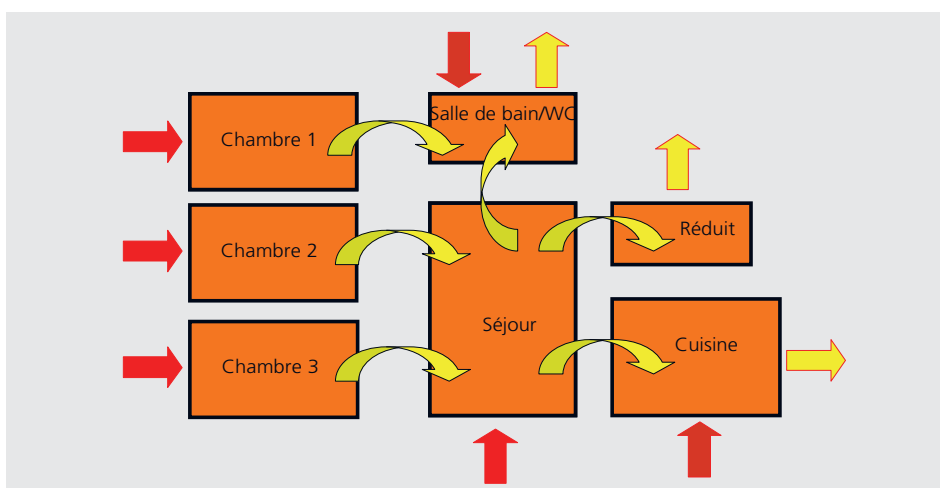
Principe du chauffage à air chaud

Pour chauffer à l'air, l'air pulsé doit être chauffé à une température supérieure à la température de l'air ambiant. Malgré les

faibles besoins de puissance thermique spécifique pour les bâtiments Minergie-P, l'air pulsé doit être chauffé entre 40 et 45°C environ. Si l'on chauffe à l'air, le principe de l'aération en cascade doit être en partie abandonné (illustration 97). Les locaux qui constituent la zone de transfert d'air d'une installation d'aération douce normale ou dans lesquels uniquement l'air est aspiré (WC, salle de bain, cuisine etc.), doivent avec un système de chauffage à air également être alimentés en air pulsé afin de garantir le chauffage. Une régulation par pièce est impossible car l'air pulsé est chauffé de manière centrale et circule donc dans tous les locaux à la même température.

Modèle de prescriptions énergétiques des cantons

Selon le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), lorsque les températures de départ sont supérieures à 30°C, chaque local chauffé doit être équipé d'un régulateur (individuel des locaux). Si l'on interprète cette disposition de manière stricte, avec le chauffage à air chaud, au moins une bouche d'air vicié dans chaque local doit être pourvue d'un régulateur d'air ambiant. En raison de l'efficacité énergétique de ces bâtiments, les autorités qui délivrent les permis de construire peuvent néanmoins accorder des dérogations – la requête correspondante devant être présentée le plus tôt possible. Une régulation par pièce au moyen de différents éléments électriques



Illustr. 97: Circulation de l'air lors de l'utilisation d'un chauffage à air chaud: l'air chaud est soufflé dans toutes les chambres chauffées. L'air ambiant chargé circule à travers la cuisine, la salle de bain et le réduit jusqu'à l'installation d'aération.

(éléments PTC), intégrés dans la bouche d'air pulsé, n'est plus autorisée conformément au MoPEC et à SIA 384/1. Afin d'éviter les déperditions de chaleur, les conduites d'amenée d'air doivent être bien isolées même à l'intérieur du périmètre d'isolation. Les épaisseurs d'isolation dépendent, dans la plupart des cantons, du MoPEC (art. 1.18) et de l'aide à l'utilisation du MoPEC.

Les chauffages à air chaud conviennent mieux aux constructions à forte occupation. Dans ces maisons, le taux d'air frais est élevé, car proportionnel aux occupants. A priori, c'est moins le cas pour les grandes maisons individuelles que pour les petits logements dans les immeubles collectifs. Les bonnes expériences des résidents avec les chauffages à air chaud dans les maisons passives allemandes sont, pour la plupart, déterminées par la surface habitable spécifique en général nettement inférieure. En effet, on rencontre souvent des problèmes de confort dans les maisons d'habitation individuelles chauffées à l'air chaud. Lorsque l'air extérieur présente une humidité absolue et une température très basses, l'air pulsé doit être chauffé à un niveau relativement élevé (45 °C). Cela réduit l'humidité relative sous les 10 %. Si les débits d'air sont plus importants en raison de faibles températures extérieures, l'humidité relative de l'air ambiant est naturellement très basse (en dessous de 25 %).

Pour les bureaux, les taux de renouvellement d'air sont fixés par la norme SIA 382/1. Pour cette raison, ils sont relativement élevés. Pendant les horaires de bureau, le renouvellement d'air est nécessaire pour des raisons d'hygiène, mais pas de chauffage du fait des charges internes. La nuit et le week-end, le chauffage est indispensable car la chaleur interne est absente. En revanche, un renouvellement d'air au sens propre du terme n'est pas nécessaire. Par conséquent, le débit d'air et la température de l'air pulsé doivent impérativement pouvoir être régulés en fonction de l'affectation. Dans les bâtiments de bureaux avec bureaux individuels, cela peut entraîner des installations complexes et coûteuses. Les chauffages à air chaud

présentent généralement des températures de chauffe supérieures (départ) aux systèmes de chauffage incorporés (p.ex. chauffage au sol). Cela entraîne des déperditions plus élevées au niveau de la diffusion et des coefficients de performance annuels moins bons en cas d'utilisation de pompes à chaleur. Les chauffages à air chaud sont souvent complétés par une production de chaleur centrale et supplémentaire, telle qu'un poêle à granulés ou des radiateurs électriques. Il est donc possible d'atteindre des températures d'air ambiant agréables même lorsque les températures extérieures sont très basses. Pour plus d'informations sur le chauffage à air chaud, veuillez consulter Faktor Haus-technik, numéro 3/2006. L'étude de la Haute école de Lucerne sur le chauffage à air chaud est disponible sur www.minergie.ch.

Appareils compacts

Chaque appartement est équipé d'un appareil avec RC et pompe à chaleur en aval pour la production d'eau chaude sanitaire respectivement le chauffage de l'air pulsé: ces appareils sont disponibles dans le commerce sous l'appellation «Appareils com-

Humidités extérieures absolues en g/kg, en dessous desquelles il ne faut pas descendre pendant 5 jours max.:

	altitude	g/kg
Bâle	316	1,52
Berne	565	1,51
Coire	555	1,21
Davos	1590	0,75
Genève	420	1,66
Lugano	273	1,58
Lucerne	456	1,64
Sion	482	1,58
St-Gall	779	1,36
St-Moritz-Samedan	1709	0,34
Zurich	436	1,47

Tableau 14: Humidités extérieures absolues dans différents lieux (en haut à droite): données d'humidité pour un ménage de 3 personnes.

Données d'humidité pour un ménage de 3 pers.:

Personnes	2,5 l/d
Plantes	0,7 l/d
Cuisine	0,8 l/d
Salle de bain	0,8 l/d
Autres	0,7 l/d

pacts». La chaleur résiduelle contenue dans l'air évacué (après la récupération de chaleur) est transmise à l'air neuf via une pompe à chaleur. L'air ainsi chauffé (jusqu'à 45 °C) chauffe les locaux en circulant à travers des tubes de distribution isolés. Le chauffe-eau (env. 200 l) intégré dans l'appareil est chauffé avec cette même pompe à chaleur. La puissance thermique de la pompe à chaleur dépend essentiellement des débits d'air (faire attention au débit d'air minimal) et de la température de l'air évacué. De ce fait, lorsque les températures extérieures sont basses, l'eau chaude sanitaire est généralement chauffée en grande partie par le corps de chauffe électrique intégré. L'élévation importante à fournir par la température de la pompe à chaleur (différence entre la température de l'air évacué après RC et la température de l'air pulsé avant l'aérotherme) entraîne de faibles coefficients de performance annuels de 2,0 à 2,5. De plus, les besoins d'électricité du corps de chauffe électrique doivent être indiqués dans le justificatif Minergie-P. Ces appareils doivent être associés à un échangeur de chaleur sol-air afin d'éviter le givrage de la pompe à chaleur et de maintenir les filtres à air au sec.

Avec la plupart des appareils compacts destinés à l'aération et au chauffage, la puissance de chauffage est limitée à 1200 à 1500 W. Pour des besoins spécifiques de chauffage de 10 W/m², la surface pouvant être chauffée est de 120 à 150 m², ce qui peut être un peu juste pour une maison d'habitation individuelle. Les appareils compacts doivent être installés de préférence à l'intérieur du périmètre chauffé. Les déperditions de chaleur contribuent ainsi à chauffer le local. Outre des appareils individuels pour chaque logement, il est également possible, dans les habitations collectives, de prévoir une production de chaleur et un traitement de l'air centralisés avec chauffage d'appoint décentralisé de l'air dans les appartements. La température de l'air pulsé, et avec des investissements plus importants, les débits d'air, peuvent ainsi être régulés dans chaque appartement. Avec ce système, la

chaleur est distribuée aux chauffages d'appoint soit via une distribution bi-tube standard à partir du chauffage central, soit via des pompes à chaleur décentralisées installées dans les appartements. Si la chaleur est fournie par le chauffage central, l'ajout de radiateurs supplémentaires (p. ex. dans la salle de bain) peut se faire très simplement.

Adrian Tschui **Climatisation**

Les exigences de confort sur le plan du climat intérieur ont fortement évolué ces dernières années. Les locaux climatisés dans les centres commerciaux, restaurants, wagons, tramways etc. sont omniprésents et entraînent une augmentation des exigences surtout en matière de surchauffe en été et par conséquent des besoins d'énergie plus élevés. Il revient au planificateur des installations techniques, en collaboration avec les architectes et le physicien du bâtiment, de remettre en question les exigences de confort excessives et d'appliquer au bâtiment toutes les mesures (géométrie, masse thermique active, protection solaire etc.) permettant de réduire les besoins en climatisation.

Installations sanitaires

Production

En règle générale, la production d'eau chaude sanitaire dans un bâtiment doit intervenir avec les mêmes agents énergétiques que pour le chauffage. Il faut notamment être attentif aux besoins de puissance ainsi qu'aux consommations d'eaux simultanées. La production d'eau chaude sanitaire peut ainsi devenir une composante de la production de chaleur déterminant la puissance. Lorsque la consommation d'eau chaude est très faible ou en cas de très grandes distances, il est indispensable d'envisager la possibilité de décentraliser les chauffe-eau. Cela permet d'optimiser les temps de soutirage et d'éliminer en grande partie les déperditions par les conduites.

Conduites de distribution

Les exigences relatives aux conduites de distribution et à leur isolation sont régies dans les lois cantonales. Le respect de ces prescriptions est d'autant plus important dans les bâtiments Minergie-P que les déperditions par soutirage et les déperditions par des grandes distances de conduites de distribution doivent être réduites. Dans la mesure du possible, les conduites de distribution doivent toujours se trouver à l'intérieur du périmètre d'iso-

lation. Eléments particuliers à prendre en compte:

- Raccord des appareils le plus court possible à partir du distributeur
- Le distributeur sanitaire doit être positionné le plus près possible du chauffe-eau respectivement de la colonne montante.
- Si la température de l'eau chaude doit être maintenue à un niveau élevé, il convient d'opter plutôt pour une bande chauffante en cas de pompe à chaleur et pour une circulation en cas de chauffage à bois.
- Dans les immeubles de bureaux, les besoins réels en eau chaude doivent être déterminés avec le maître d'ouvrage. Un chauffe-eau électrique de 30 l tous les deux étages peut éventuellement suffire.

Consommation d'eau et utilisation de l'eau de pluie

Des robinetteries économes en eau, des toilettes avec chasses d'eau à deux débits respectivement avec une touche d'arrêt ou des urinoirs sans eau permettent de réduire la consommation d'eau potable. En cas d'installations extérieures et de jardin, il convient également de tenir compte de l'utilisation de l'eau de pluie. Elle est recueillie dans des cuves et de petites pompes ou une installation de surpression d'eau permettent d'alimenter si besoin les robinets extérieurs. L'eau de pluie peut également être utilisée dans la maison mais uniquement pour le lave-linge (dernier cycle de rinçage avec eau potable, donc deux raccordements nécessaires) ou la chasse d'eau des toilettes (attention: risque de formation d'algues dans le réservoir de chasse d'eau et, de coloration de la cuvette des toilettes par la suite). La récupération de l'eau grise doit également être prise en compte suivant l'utilisation et les arrivées d'eau.

Étanchéité à l'air des installations techniques

Pour atteindre les exigences élevées en matière d'étanchéité du bâtiment, les installations techniques doivent être prises en compte lors de la conception d'une enveloppe de bâtiment étanche. Les installations qui traversent le périmètre d'étanchéité du bâtiment ou différents logements et étages dans des habitations collectives doivent être réduites au minimum et correctement étanchées. Les interpénétrations doivent être prévues, dans les moindres détails, avec l'architecte ou le physicien du bâtiment et être mises en œuvre et vérifiées avec soin. Dans les habitations collectives ou les bâtiments administratifs, commerciaux ou industriels, il convient d'accorder une attention particulière à la séparation par étages des colonnes montantes. Les solutions parfaites n'existent pas.

Assainissements

Lorsque des bâtiments sont rénovés conformément au standard Minergie-P, ils sont très souvent équipés d'un nouveau système de production de chaleur. Grâce à la réduction des besoins de chaleur pour le chauffage et de la puissance de chauffe nécessaire, les systèmes adaptés sont les mêmes que ceux destinés aux bâtiments neufs. Les installations existantes de distribution de chaleur peuvent éventuellement être complétées et reprises à peu de frais. Des radiateurs existants peuvent fonctionner à des températures de départ nettement plus faibles grâce à des besoins de puissance thermique fortement réduits. Dans tous les cas, il est recommandé de recalculer la puissance de chauffage par local suivant la norme SIA 384.201. En ce qui concerne l'aération douce, la solution idéale est de faire passer les conduites d'air dans un plafond suspendu dans le couloir. Les bouches d'aération peuvent ainsi être montées directement au-dessus des portes. Les systèmes qui sont posés dans une deuxième couche d'isolation extérieure lors de l'assainissements de l'enveloppe du bâtiment doivent impérative-

ment permettre un entretien ultérieur (attention aux coudes étroits, aux longues conduites et aux bifurcations). S'il est impossible de dissimuler toutes les conduites d'air, la seule solution est le montage visible. Les conduites d'air en tôle d'acier galvanisé peuvent être revêtues dans toutes les couleurs RAL/NCS. Les conduites d'air existent également en acier chromé.

Sources

- [1] Fiche technique SSIGE, «Legionella et eau potable – à quoi faut-il faire attention?»; SSIGE: Zürich, 2005
- [2] Norme SIA 384/6; Sondes géothermiques, éditeur SIA: Zurich, 2010
- [3] Règlement label de qualité suisse pour chauffages à bois pour l'habitat et chaudières à bois Energie-bois Suisse: Zurich, 2004
- [4] Cahier technique SIA 2023; Ventilation des habitations, éditeur SIA: Zurich, 2008
- [5] Norme SIA 382/1; Installations de ventilation – Bases générales et performances requises, éditeur SIA: Zurich, 2007

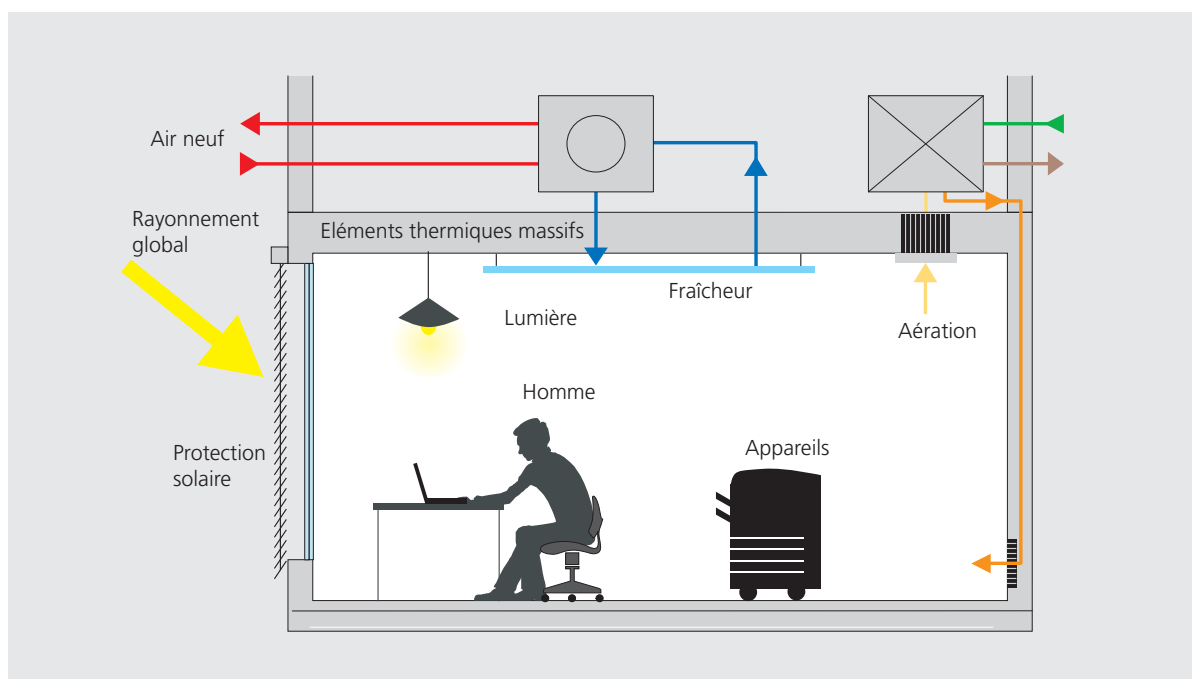
La protection thermique en été

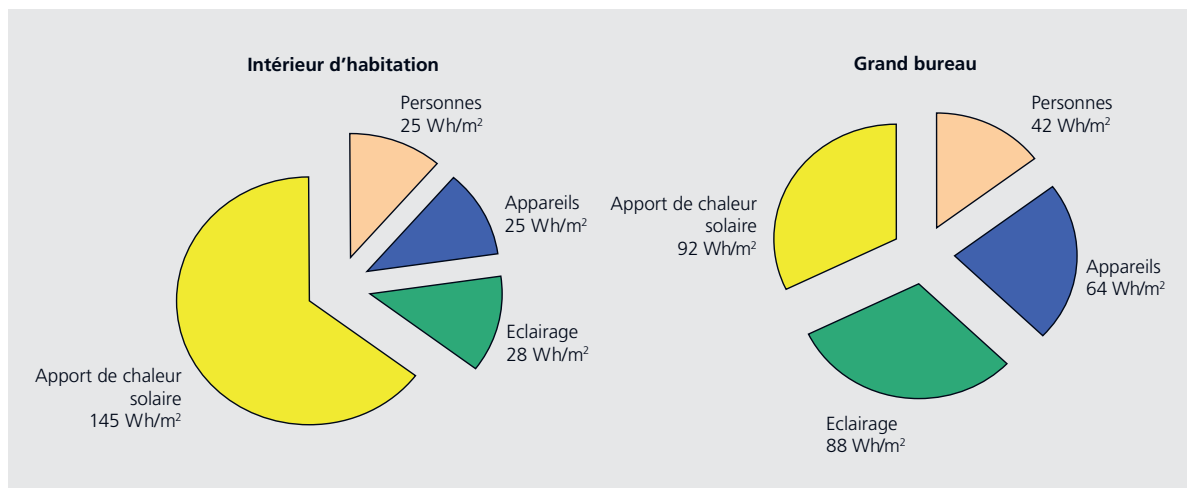
Adrian Tschui L'enveloppe du bâtiment est principalement optimisée pour le chauffage, principalement dans les habitations mais également dans la plupart des autres catégories de bâtiment. La protection thermique en été a pendant longtemps été traitée de manière secondaire. Elle est aujourd'hui de plus en plus importante du fait d'enveloppes de bâtiment toujours mieux isolées, de l'augmentation des charges internes, du réchauffement climatique, de la tendance aux façades fortement vitrées et des exigences de confort accrues. Le problème de la surchauffe dans les immeubles de bureaux est un sujet pris en considération depuis plus longtemps déjà. L'enveloppe thermique n'est plus optimisée uniquement pour le chauffage mais également dans l'optique de la protection thermique en été. Cet objectif est déjà un élément important de Minergie-P en raison des surfaces vitrées optimisées pour l'apport de chaleur (apport solaire important) souvent associées à une construction légère (absence de capacité d'accumulation).

La protection thermique du bâtiment en été est principalement influencée par les facteurs suivants:

- Climat extérieur (température, ensoleillement)
- Enveloppe du bâtiment (constructions, taux de surface vitrée, possibilités de protection solaire)
- Éléments de construction massifs (masse thermique active)
- Charges internes (éclairage, appareils, occupants)
- Installations techniques, possibilités de refroidissement

*Illustr. 98: L'homme entouré d'installations techniques.
Source: Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Faktor Verlag, Zurich 2008.*





Illustr. 99: L'apport de chaleur dans un local au cours d'une journée d'été, réparti selon les sources de chaleur, en Wh/m²d, pour l'intérieur d'une habitation et un grand bureau. Les déperditions par transmission de l'intérieur vers l'extérieur ainsi qu'un éventuel rafraîchissement qui réduisent les charges ne sont pas prises en compte. Les données fondamentales de la norme SIA 2024 [7] constituent la base.

Influence du climat extérieur

La surchauffe d'un bâtiment ou de certains locaux dans un bâtiment est souvent occasionnée par le climat extérieur, le rayonnement solaire exerçant un plus gros impact que la température de l'air extérieur. Cela signifie que les apports solaires à travers les surfaces vitrées sont nettement supérieurs aux apports par transmission à travers les éléments de construction.

Températures et rayonnement

«Désormais, il faut partir du principe que les températures estivales en été en Suisse vont augmenter de 2 à 3 degrés d'ici à 2050. En été, le climat à Zurich sera alors le climat que l'on connaît actuellement à Turin. Ces températures extérieures plus élevées se traduiront par des périodes de chaleur prolongées qui auront pour effet une augmentation des températures ambiantes dans les bâtiments. Les températures plus élevées notamment la nuit auront des répercussions négatives sur la capacité de refroidissement des constructions non protégées. Avec des températures extérieures supérieures à 28°C le jour et 20°C la nuit, il sera de toute façon impossible d'atteindre des températures intérieures agréables même avec une bonne protection solaire et une masse thermique élevée.» [1] L'influence de la température de l'air extérieur sur la température de l'air intérieur est très faible surtout dans les bâtiments bien isolés. L'influence de la température extérieure prend plus d'importance étant donné les possibi-

lités de plus en plus réduites de rafraîchir les locaux en aérant la nuit et utiliser des systèmes de refroidissement par l'air extérieur (faible coefficient de performance dû à la forte augmentation des températures). Cela entraîne une augmentation de la consommation d'électricité.

Influence du bâtiment

Éléments de construction opaques (transmission)

Il existe de nombreuses études sur le lien entre enveloppe du bâtiment et protection thermique en été. En matière de transmission (à travers l'enveloppe du bâtiment) l'expérience montre que:

■ La transmission ne joue qu'un rôle minime par rapport à la surchauffe.

Une enveloppe de bâtiment très bien isolée ne laisse pas entrer la chaleur mais empêche également le rafraîchissement (nocturne) lorsque les températures extérieures sont plus basses. Lorsque le comportement des utilisateurs du bâtiment en été est judicieux, une très bonne protection thermique peut donc contribuer à améliorer le confort, à condition que le bâtiment soit suffisamment rafraîchi la nuit grâce à une aération nocturne (naturelle).

■ Le déphasage de la transmission thermique n'a pas d'impact significatif sur le confort en cas d'éléments de construction extérieurs très bien isolés. Dans une maison Minergie-P présentant une valeur U d'environ 0,1 W/m²K, l'atténuation stationnaire est d'ores et déjà tellement importante que

l'atténuation dynamique et, par conséquent, le rapport température/amplitude ne joue plus aucun rôle, ni pour les besoins annuels de chaleur pour le chauffage, ni pour le confort thermique en été.

Important: Une enveloppe du bâtiment bien isolée n'est pas incompatible avec la protection thermique en été, du moins pour les habitations et les utilisations habituelles dans les immeubles de bureaux. L'adaptation ciblée de l'isolation des bâtiments à la consommation d'énergie globale est sensée uniquement pour les utilisations spéciales avec de grandes charges thermiques internes.

Surfaces vitrées et protections solaires

L'augmentation du taux de surface vitrée dans les bâtiments est une tendance qu'on ne peut ignorer. Les bâtiments ayant un fort taux de surface vitrée sont cependant plus exigeants en matière de protection thermique en été. Il existe de nombreux exemples où le taux de surface vitrée élevé et une planification inappropriée sont à l'origine d'un manque de confort et d'une augmentation de la consommation d'énergie.

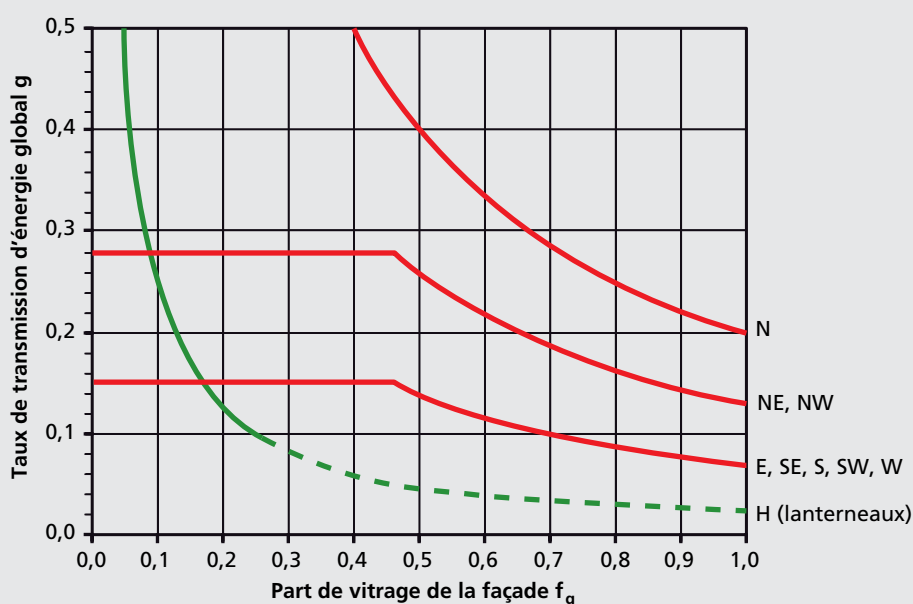
Le cahier technique SIA 2021 publié en 2001 «Bâtiments vitrés – confort et effi-

cience énergétique» et la norme SIA 382/1 entrée en vigueur en 2007 «Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances» constatent ce problème et définissent des exigences afin que même les bâtiments vitrés puissent offrir une atmosphère confortable. Les MoPEC 2008 s'orientent également vers ces deux fondements tout comme les différents standards Minergie. L'exigence essentielle pour les bâtiments Minergie-P est la valeur g de la vitre incluant la protection solaire sur toute la façade de 0,07 à 0,4 (illustration 100).

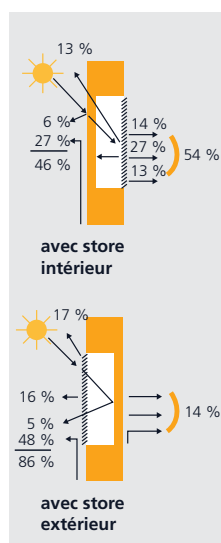
Cette valeur g global peut être calculée en multipliant la valeur g de la vitre seule par le facteur de réduction pour les dispositifs de protection solaire F_c selon le tableau 15. Pour des solutions spécifiques, les caractéristiques de l'ensemble de la construction, y compris les interactions entre verre et dispositifs de protection solaire doivent être pris en compte pour le calcul. On utilise pour cela des programmes tels que WIS et Glad (banque de données du verre Empa) et Glassdbase (banque de données pour verre de bâtiment de l'université de Bâle; www.glassdbase.unibas.ch) par exemple.

Une étude du Passivhaus Institut de Darmstadt [2] s'intéresse à l'influence des élé-

**Module Minergie
Protection
solaire:**
www.minergie.ch
→ Modules →
Protection solaire



*Illustr. 100: Taux de transmission d'énergie globale de la façade requis en fonction de la surface vitrée de la façade.
(Source: norme SIA 382/1)*



Illustr. 101: Apport énergétique ou effet d'écran d'un store intérieur et d'un store extérieur.
Source: Handbuch der passiven Kühlung [6].

ments d'ombrage fixes des maisons passives (conformément aux bâtiments Minergie-P) sur la protection thermique en été:

■ L'ouverture solaire (le degré d'ouverture d'un bâtiment pour l'utilisation de la lumière du soleil et du rayonnement thermique) se révèle être, avec l'aération, le principal facteur d'influence sur le confort estival. On ne constate en général pas d'augmentation des températures avec de petites fenêtres. Les ouvertures verticales au sud sont bien plus avantageuses en été que les ouvertures à l'est ou à l'ouest par exemple.

■ Pour le bâtiment Minergie-P (habitation), équiper les fenêtres toute hauteur, orientées au sud, avec des écrans horizontaux (p. ex. saillies de balcon) d'une profondeur d'environ 1 m est très efficace pour l'ombrage en été en été, sans augmentation sensible des besoins annuels de chaleur pour le chauffage.

■ Les protections solaires mobiles à l'extérieur sont également très efficaces (à condition d'être correctement manipulées et utilisées), tout comme celles disposées dans l'espace intermédiaire extérieur d'un triple vitrage. Comme le montre l'illustration 101, une protection solaire intérieure n'offre qu'une protection insuffisante contre le rayonnement solaire (valeur g dans cet exemple de 0,54 au lieu de 0,14). Source: Handbuch der passiven Kühlung [6].

Masse thermique active

Les éléments de construction massifs et leur capacité d'accumulation thermique ont une grande influence sur la possibilité d'atténuer les pics de température de l'air ambiant en journée et par conséquent de réduire les valeurs maximales et minimales, c'est-à-dire que les températures varient moins fortement avec une masse thermique active importante. L'énergie accumulée dans les éléments massifs toute la journée durant doit être évacuée la nuit à l'aide de l'aération (si possible naturellement) ou par le biais de fluides caloporteurs (p. ex. systèmes d'éléments de construction thermoactifs). La capacité d'accumulation thermique spécifique à la surface du local doit être d'au moins 30

Wh/m² K. Alors que les constructions massives (murs en béton, dalles en béton, revêtement de sol en carrelages) atteignent des valeurs de 100 Wh/m² K et plus (dans la mesure où la masse des dalles n'est pas isolée du local par des éléments acoustiques), cette exigence représente un obstacle par exemple dans les constructions en bois. La valeur est généralement tout juste atteinte avec des murs intérieurs à double paroi (panneaux de plâtre cartonné), une dalle en bois lamellé-collé et une chape en ciment ou une chape anhydrite d'une épaisseur de 6 cm. Il est possible d'augmenter de faibles masses thermiques par exemple grâce à des matériaux à changement de phase (PCM: Phase Change Material). L'utilisation de ces ma-

Dispositif de protection solaire ¹	F _c
Sans dispositif de protection solaire	1,0
Intérieur ou entre les vitres ²	
Surface blanche ou réfléchissante de faible transparence	0,75
Couleurs claires ou faible transparence ³	0,8
Couleur foncée ou transparence élevée	0,9
Extérieur	
Lames orientables, ventilées	0,25
Stores et tissus de faible transparence ³ , ventilés	0,25
Stores universels	0,4
Volets roulants, volets	0,3
Avant-toits, loggias, lamelles isolées ⁴	0,5
Marquises ⁴ , ventilées en haut et sur les côtés	0,4
Marquises ⁴ universelles	0,5

¹ Le dispositif de protection solaire doit être fixé. Les rideaux décoratifs courants ne sont pas considérés comme dispositifs de protection solaire.

² Pour les dispositifs de protection solaire internes et situés entre les vitres, il est conseillé de procéder à un calcul précis car cela peut engendrer des valeurs nettement plus avantageuses.

³ Une transparence du dispositif de protection solaire inférieure à 15 % est considérée comme faible.

⁴ Il convient de garantir l'absence d'ensoleillement direct de la fenêtre. C'est le cas lorsque:

■ pour une orientation au sud, l'angle de couverture β est $\geq 50^\circ$;

■ pour une orientation à l'est ou à l'ouest, l'angle de couverture est $\beta \geq 85^\circ$ ou $\gamma \geq 115^\circ$.

Des champs angulaires de $\pm 22,5^\circ$ sont associés à chaque orientation. En cas d'orientations intermédiaires, l'angle de couverture β doit être $\beta \geq 80^\circ$.

Tableau 15: Facteur de réduction F_c des installations de protection solaire.
(Source: DIN 4108-2)

tériaux n'a pas encore été vraiment testée. Afin de pouvoir déterminer l'influence de la masse thermique sur les températures de l'air ambiant, il convient de procéder à des simulations thermiques des locaux ou, dans les cas plus simples, à des calculs de contrôle à l'aide de l'Outil SIA Klimatisierung.

Forme du bâtiment et disposition des locaux

En règle générale, la forme du bâtiment et la disposition des locaux n'ont que peu d'influence sur la protection thermique en été. Les petits locaux avec vitrage d'angle ou les locaux de très faible profondeur font exception: ils présentent des apports énergétiques par rayonnement solaire élevés par mètre carré de surface au sol et ont ainsi tendance à la surchauffe. Le comportement thermique particulier de ces locaux doit être pris en compte lors de la commande ou du réglage des installations techniques. Les locaux exposés doivent être évalués à l'aide des normes adaptées (p. ex. norme SIA 382/1) ou de simulations thermiques.

Espace intérieur

Charges internes

Alors que les charges internes occasionnées par les personnes sont définies par l'occupation de la maison et ne peuvent être influencées, les charges internes dues aux appareils et à l'éclairage peuvent être réduites par une utilisation appropriée d'appareils et de luminaires à basse consommation. Pour plus d'informations à ce sujet, consultez le site www.topten.ch.

Mesures essentielles

■ Appareils: utiliser, si possible, les appareils présentant la meilleure efficacité énergétique; fonctionnement adapté aux besoins, veille et arrêt automatiques.

■ Lumière: concept d'éclairage intégral (choix des couleurs des surfaces entourant le local, disposition des luminaires, choix des luminaires et des lampes, faible puissance spécifique installée, réglage de la luminosité et en fonction de l'occupation). Les charges internes et les charges ex-

ternes doivent être inférieures à 150 Wh/m² d par jour afin de pouvoir exclure tout problème de surchauffe (illustration 99).

Installations techniques

Les installations techniques ne peuvent généralement pas compenser d'éventuelles erreurs de planification en matière de protection thermique en été. En temps normal, les mesures liées aux installations techniques interviennent en dernier lieu. Les installations techniques doivent compléter les mesures de protection thermique architecturales de manière habile et efficace sur le plan énergétique. Le confort s'obtient avant tout en diminuant les charges (internes et externes) et en augmentant la capacité d'accumulation.

L'aération peut également être utilisée de manière limitée pour le rafraîchissement en conservant le renouvellement d'air nécessaire pour des raisons d'hygiène. Il faut noter, à ce propos, que l'air peut stocker par unité volumique 3500 fois moins d'énergie que l'eau et qu'il est donc préférable d'opter pour des systèmes à circulation d'eau pour le chauffage et le rafraîchissement. Ainsi, 120 m³/h d'air pulsé à une température de 21 °C dans un local de 26 °C permettent d'évacuer une charge de seulement 200 W. Cela correspond à la même performance que celle de l'apport solaire dans un local à travers une surface vitrée de 4 m² présentant une valeur g de 0,1.

Exigences de confort des utilisateurs

«De toute évidence, les exigences de confort des propriétaires d'habitations et des employés dans le secteur des prestations de services, sur le plan du climat intérieur, ont évolué au cours des dernières décennies en Suisse (tout comme en Europe centrale). La tolérance de chacun aux variations de températures, aux stratifications thermiques et écarts de température, aux courants d'air, au rayonnement asymétrique a diminué, c'est-à-dire que les efforts individuels escomptés dans les normes de confort (SIA 180) pour adapter ses vêtements (clo), son activité physique (met) et ses déplacements dans l'espace ont diminué. Cette situation critique est

symbolisée par l'activité en position assise pendant des heures au bureau, devant un écran. Les dispositions légales sur les valeurs théoriques et les valeurs limites dans les pièces de travail sont adoptées par les utilisateurs.» [1] En été, l'utilisateur est surtout exigeant en matière de confort thermique. Lorsque les températures extérieures sont de 32 °C, la température intérieure maximale doit être de 26,5 °C. Dans ce cas, on part du principe que l'utilisateur porte des vêtements légers. Ces valeurs peuvent être facilement calculées et représentées à l'aide de graphique grâce à l'Outil SIA «Klimatisierung» par exemple.

L'été, il est important que l'utilisateur puisse adapter lui-même les conditions ambiantes. Que ce soit grâce aux fenêtres, qui doivent pouvoir être ouvertes (les ouvertures verticales sont plus efficaces que les ouvertures horizontales), grâce à la commande des dispositifs de protection solaire ou grâce à l'influence directe sur le rafraîchissement. Les utilisateurs se sentent donc mieux et sont moins sensibles aux pics de températures extérieures en été.

Lorsque les températures extérieures et l'humidité extérieure sont élevées, l'humidité relative ambiante peut atteindre des valeurs supérieures à 70 % dans des locaux légèrement rafraîchis. Le maître d'ouvrage et les utilisateurs doivent discuter de ce problème. La plupart du temps, en cas de refroidissement optimisé sur le plan énergétique (p.ex. nappe phréatique et refroidissement naturel), l'air pulsé ne peut

plus être asséché par des températures élevées d'eau froide (12 °C env.).

En cas de plafonds rafraîchissants avec détecteurs de condensation, les utilisateurs doivent être informés des conséquences de l'ouverture des fenêtres: l'apport élevé d'humidité à travers la fenêtre ouverte entraîne l'arrêt d'urgence du plafond rafraîchissant.

Facteurs d'influence de la température ambiante en été

L'influence de différents facteurs sur la température ambiante dans les locaux sous toiture a été examinée à l'aide de simulations dans une étude de l'Empa [3]. Cette dernière met en avant l'influence majeure de la protection solaire et du rafraîchissement nocturne (tableau 17). Le confort d'une habitation en été est garanti par des charges minimales (apports solaires et charges internes) ainsi que par une accumulation (masse) et une évacuation efficaces des charges (refroidissement naturel par le biais de système à circulation d'eau et d'air). Les planificateurs doivent apporter un soin particulier à la protection thermique en été, mais c'est à l'utilisateur qu'il revient de décider, au final, de l'utilisation des protections solaires etc. En comparaison: la maison serait également froide et inconfortable en hiver avec des fenêtres ouvertes en permanence!

Tableau 16: Différentes charges thermiques et durées de fonctionnement/séjour de personnes, appareils et éclairage pour les deux usages (intérieur d'une habitation et grand bureau) du cahier technique SIA 2024.

Usage	Type	Charge thermique	Durée de fonctionnement / durée de séjour
Habitation	Dégagement de chaleur par les personnes	1,5 W/m²	18,2 h/d
Habitation	Dégagement de chaleur des appareils	2,0 W/m²	12,7 h/d
Habitation	Chaleur due à l'éclairage	9,4 W/m²	16,0 h/d
Grand bureau	Dégagement de chaleur par les personnes	7,0 W/m²	6,0 h/d
Grand bureau	Dégagement de chaleur des appareils	10,0 W/m²	6,4 h/d
Grand bureau	Chaleur due à l'éclairage	12,5 W/m²	11,0 h/d

Résumé des règles

Principaux facteurs de risque avec Minergie-P

- Taux de surface vitrée élevé pour optimiser les apports de chaleur → apport solaire élevé.
- Bâtiment réalisé en construction légère → faibles capacités d'accumulation thermique en raison d'une masse thermique active peu élevée.

Mesures constructives

- Un taux de surface vitrée élevé augmente le risque de surchauffe, la garantie de la protection thermique en été est plus exigeante.
- Le type, l'emplacement et le mode de fonctionnement d'une protection solaire sont d'une importance majeure. En général, les stores doivent être automatisés et commandés par le biais d'un capteur de rayonnement par façade.
- Le choix du vitrage est important. Il faut privilégier les vitrages sélectifs (facteur de

transmission lumineuse élevé avec faible coefficient de transmission d'énergie).

- Les planchers ou les plafonds doivent être massifs et en contact avec l'air ambiant, sans tapis, faux planchers ou plafonds suspendus (éléments acoustiques).
- Permettre l'aération par les fenêtres.
- Les locaux avec vitrage d'angle et les locaux de faible profondeur exigent une attention accrue.

Mesures liées aux installations techniques

- Dimensionnement précis des installations techniques, éventuellement en tenant compte de simulations thermiques dynamiques des locaux pour évaluer le comportement thermique du bâtiment.
- Le système de récupération de chaleur comporte un bypass pour l'été.
- Un puits canadien ou un système de rafraîchissement tirant profit de la nappe phréatique ou du sous-sol, via une sonde géothermique, pour fournir un air neuf

Facteur d'influence	Influence de la température ambiante maximale	Remarques
Aération nocturne	1 K de 4,5 K	Potentiel élevé avec mode de fonctionnement approprié (exigeant surtout en cas d'aération naturelle).
Protection solaire	1 K de 3,5 K	Une protection solaire variable permet l'utilisation de l'énergie solaire si nécessaire et la réduction des charges externes en cas de risque de surchauffe. Commande automatique très importante
Charges internes	1 K de 3 K	Réduction des charges internes par appareils et éclairage basse consommation
Masse thermique active	1 K de 3 K	Constructions massives de sols et de plafonds avec effet majeur. Les plafonds suspendus ou les faux planchers réduisent la masse thermique.
Réchauffement climatique et périodes de chaleur prolongées	1 K de 2 K	Une période de chaleur classique au cours d'un été normal ne durera à l'avenir plus 3 jours avec des températures maximales supérieures à 30 °C comme aujourd'hui, mais 10 jours.
Type de matériau d'isolation thermique	0 K de 1 K	La très bonne enveloppe du bâtiment réduit l'influence du matériau d'isolation thermique pour la surchauffe (notamment le comportement dynamique également).

Tableau 17: Résultats de simulation sur l'influence de différents facteurs sur la température ambiante maximale dans les combles [3].

légèrement rafraîchi même en été (puissance limitée!).

■ A l'exception des bâtiments d'habitation, l'air primaire doit être refroidi en été (ici aussi de manière efficace sur le plan énergétique) et le local doit éventuellement être équipé d'un système de refroidissement incorporé. Un refroidissement d'appoint est généralement plus efficace sur le plan énergétique que l'aération nocturne!

Mesures d'exploitation

■ Réduction des charges thermiques internes: appareils à basse consommation, éviter les pertes liées au mode veille (débranchement du secteur etc.); éclairage basse consommation, détecteurs de lumière naturelle ou détecteurs de présence, agencement du local optimisé en fonction de l'éclairage (concept de couleurs, choix des matériaux etc.).

■ Fonctionnement de l'installation de ventilation pour le rafraîchissement nocturne.

■ Adaptation du code vestimentaire aux saisons et aux températures.

Sources

[4] Cahier technique SIA 2021; Bâtiment vitré – Confort et efficacité énergétique; éditeur SIA, Zurich 2002

[5] Norme SIA 382/1; Installations de ventilation – Bases générales et performances requises, éditeur SIA: Zurich, 2007

[6] Mark Zimmermann; Handbuch der passiven Kühlung; Fraunhofer IRB Verlag; 2003

[7] Cahier technique 2024: Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment, éditeur SIA, Zurich 2006

Exemples

Aperçu	Standard	Page
Immeuble de bureaux Green Offices, Givisiez	Minergie-P-Eco	136
Immeuble locatif, Zurich	Minergie-P	140
Immeuble locatif, Pensier	Minergie-P	152
Villa d'habitation, Chamoson	Minergie-P	156
Villa d'habitation, Villarlod	Minergie-P	160

Les données relatives à la consommation d'énergie, aux besoins de chaleur pour le chauffage ainsi qu'au débit d'air neuf effectif, thermiquement actif se basent sur la méthode de calcul ainsi que sur les exigences Minergie-P des années 2004 à 2009. La date principale pour la planification est mentionnée dans chaque cas.

Bois de lune et argile crue

Objet

Bâtiment administratif Green Offices, Givisiez

Maître d'ouvrage, architecte, planificateur en énergie

Architecture Conrad Lutz SA
Green Offices
1762 Givisiez

Ingénieur

ING Holz Bois
Rte de la Fonderie 7
1700 Fribourg

Construction bois

Vonlanthen AG
Ried 9
3185 Schmitten

Cet édifice en forme de cube en bois est devenu à l'été 2007 le premier immeuble de bureaux en Suisse à porter le label Minergie-P-Eco. Ses besoins effectifs de chaleur pour le chauffage sont inférieurs à 6 kWh/m². L'utilisation de ressources pour la construction a également été réduite. L'énergie grise dissimulée dans le bâtiment de trois étages s'élève à un million de kilowattheures. En comparaison: si l'immeuble avait été construit selon les exigences minimales de la norme SIA 380/1, les besoins énergétique de départ aurait doublé. La différence permettrait de couvrir la chaleur pour le chauffage de «Green Offices» pendant plus de 100 ans.

Ecoconstruction et mixité sociale

L'architecte et maître d'ouvrage Conrad Lutz a calculé le bilan écologique de manière détaillée et pour chaque élément de construction. Résultat: l'utilisation cohérente de matériaux de construction naturels et non traités est le critère décisif pour une construction efficace sur le plan énergétique. Avec des matériaux de construction conventionnels tels que l'acier et le béton mais sans utilisation de bois et d'argile, l'énergie supplémentaire pour la construction de l'immeuble de bureaux Minergie-P aurait également été nettement supérieure. Par conséquent, la combinaison du standard Minergie-P avec les exigences d'écoconstruction était une «conclusion logique» pour l'architecte.

Pour obtenir la partie «Eco» du label, il faut au préalable apporter la preuve que les matériaux de construction utilisés à l'intérieur et à l'extérieur sont exclusivement des matériaux écologiques qui n'ont pas d'impact nocif durable sur l'environnement et sur l'homme à son poste de travail. Il s'agit également de supprimer les polluants de l'habitat ainsi que les peintures avec solvants.

Posséder un bureau dans le «Green Offices» n'est pas uniquement la garantie d'une qualité élevée sur le plan de l'écoconstruction. M. Lutz avait également un objectif de «mixité sociale», en créant ce

bâtiment. Le bureau de l'architecte occupe en effet environ un tiers de la surface utile de l'immeuble. Le partage de l'espace n'est possible qu'avec des cloisons démontables. Seuls la cage d'escalier, l'ascenseur et la salle de réunion sont fermés par des parois fixes. La demande en matière de structure ouverte flexible qui favorise l'échange semble bien réelle. Toute la surface de travail de 1300 m² est occupée. Outre le bureau d'architecte Lutz, sept autres petites entreprises y louent des bureaux. Le loyer est accessible puisque les coûts de construction étaient de 560 francs par m³. Globalement (CFC 2), l'immeuble de bureaux a coûté 3 millions de francs.

Un savoir-faire traditionnel

La construction écologique est marquée par la tradition. Le bois, utilisé pour les planchers et les éléments de mur préfabriqués, provient de sapins qui ont été abattus dans le respect du calendrier lunaire. Le «bois de lune» comme on l'appelle réduit les besoins de séchage. Pour cela, il convient de respecter une condition importante: la réflexion doit être menée très tôt dans la phase de planification. La protection des façades a également été réalisée selon un procédé de traitement naturel. Les lames verticales en sapin blanc ont été préalablement grisées par l'action naturelle et conjointe de champignons, du soleil et de la pluie. L'ensemble du bois provient des forêts de Fribourg et du Jura. La construction à base d'argile utilisée pour la structure intérieure du «Green Offices» est également un savoir-faire traditionnel. Les éléments de mur sont crépis à l'argile et les quelques cloisons de séparation ont été montées en briques d'argile crues. Le choix du revêtement de sol minéral ne s'explique pas uniquement par une chape en asphalte coulée comme prévu dans l'avant-projet: si on avait utilisé à la place de la chape en ciment de teinté en brun-rouge, le bilan de l'énergie grise aurait été fortement détérioré. Conrad Lutz a également procédé à un calcul détaillé à ce sujet: l'énergie grise des sols en asphalte représente un million de kilowattheures, ce qui aurait immédiatement doublé l'énergie primaire nécessaire à

l'ensemble de l'immeuble de bureaux. Les seules concessions à l'écologie des matériaux ont été faites pour la protection incendie. La cage d'escalier placée sur le côté est de conception ignifuge et se compose de marches en béton ainsi que d'un garde-corps en contreplaqué lié au ciment.

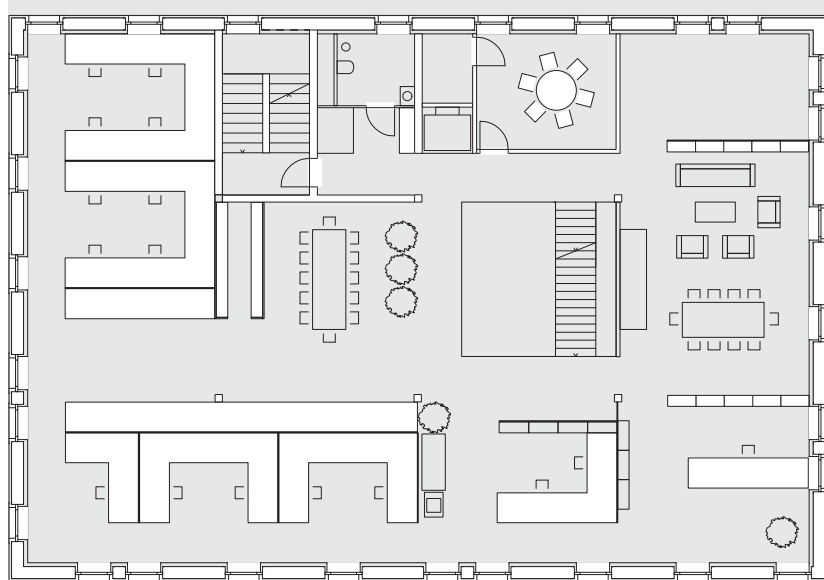
Forme compacte et fenêtres étroites

La forme compacte de l'enveloppe du bâtiment a certes été prédéterminée par les dimensions du terrain. De plus, l'épaisseur du plancher entre la cave et le rez-de-chaussée de 50 cm a été réalisée au préalable pour des raisons statiques. Cependant, ils ont un impact énergétique favorable combinés avec les éléments de façade isolés par de la cellulose (40 cm). Pour améliorer l'utilisation de l'énergie solaire passive, on avait prévu à l'origine une façade sud entièrement vitrée. On a cependant dû y renoncer en raison du risque de surchauffe des bureaux en été. Une inspiration architectonique apporte l'optimisation requise. Les quatre façades sont pourvues de fenêtres en bois allant du sol au plafond. Leur disposition irrégulière apporte suffisamment de lumière et la protection solaire suffit grâce à une embrasure de fenêtre d'environ 30 cm d'épaisseur pour que la température intérieure ne dépasse qu'exceptionnellement les 26 °C. Aucune mesure supplémentaire n'est donc nécessaire pour rafraîchir le bâtiment, en dehors de l'amenée d'air neuf via le puits canadien dont l'effet correspond à peu près à celui d'une aération nocturne. Les fenêtres en bois allant du sol au plafond, sont dotées d'un triple vitrage et possèdent une valeur U comprise entre 0,9 et 1,0. Le bâtiment exige également peu de dépenses supplémentaires en matière d'éclairage. Le mobilier est placé à l'intérieur dans les espaces ouverts.

Les couleurs choisies renforcent la luminosité intérieure. Les murs sont peints en jaune moutarde, les plafonds et les piliers sont en blancs. Seuls les luminaires des postes de travail apportent une lumière artificielle dans les bureaux. Les locataires sont tenus d'utiliser exclusivement des lampes basse consommation.

Bâtiment (année de certification 2008)	
Certificat	FR-001-P-ECO
Année de construction	2007
Catégorie	Administration
Volume selon SIA 416	5291 m ³
Surface de référence énergétique A _E (corrigée)	1410,5 m ²
Surface d'enveloppe du bâtiment	1760,3 m ²
Facteur d'enveloppe du bâtiment	1,23
Proportion de portes et de fenêtres dans la surface d'enveloppe du bâtiment	0,17
Besoins de chaleur pour le chauffage	
Valeur limite SIA 380/1 (Q _{h,li})	52 kWh/m ²
Exigence Minergie-P (0,2 Q _{h,li})	10,5 kWh/m ²
Valeur du bâtiment avec renouvellement d'air standard Minergie-P (Q _{h-HP})	10 kWh/m ²
Valeurs effectives (Q _{h,eff})	5,8 kWh/m ²
Renouvellement d'air neuf actif thermiquement effectif (ṡ _{th})	0,1 m ³ /h m ²
Bilan énergétique	
Dépense par transmission (Q _T)	31,7 kWh/m ²
Dépense de chaleur par renouvellement d'air (Q _V)	10,0 kWh/m ²
Apports de chaleur internes (Q _i)	20,8 kWh/m ²
Apports de chaleur solaires (Q _s)	35,8 kWh/m ²
Taux d'utilisation pour apports de chaleur (η _g)	0,56
Construction (valeurs U)	
Fenêtres (U _w)	0,95 – 1,0 W/m ² K
Vitrage (U _g)	0,6 (nord: 0,5) W/m ² K
Cadre (U _f)	1,4 W/m ² K
Valeur g	0,5
Mur extérieur opaque	0,11 W/m ² K
Toit	0,11 W/m ² K
Plancher sur sous-sol	0,10 W/m ² K
Couverture des besoins (parts en %)	
Poêle à granulés	
Couverture des besoins eau chaude	60 %
Couverture des besoins chauffage	100 %
Capteurs solaires	
Couverture des besoins eau chaude	40 %
Indice pondéré de dépense d'énergie selon Minergie-P	9,1 kWh/m ²

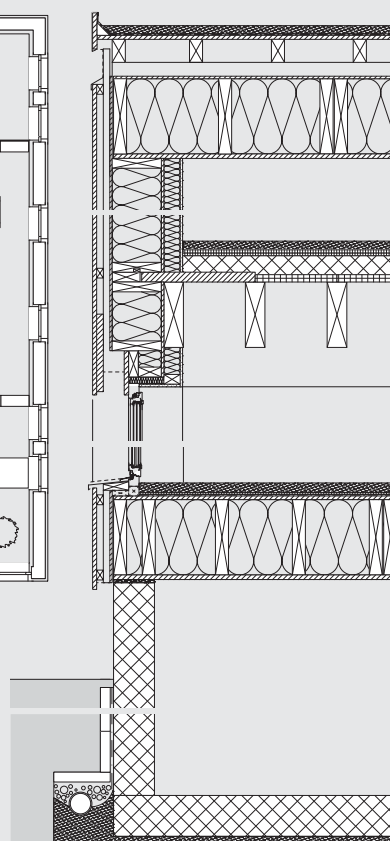
Tableau 18:
Données



Illustr. 102: Immeuble de bureaux Green
Offices à Givisiez

Illustr. 103:
Plan 1er étage

Illustr. 104:
Coupe



Utilisateurs et appareils comme sources de chaleur

Un système optimisé exige l'utilisation passive de diverses sources d'énergie: bien que les lampes consomment peu d'électricité et ne génèrent guère de rejets thermiques, elles contribuent, avec les utilisateurs et les appareils de bureau, à couvrir les besoins de chaleur. Environ 1/5^e de la chaleur requise provient de l'utilisation passive des rejets thermiques. La majeure partie de la chaleur du bâtiment est cependant couverte par un poêle à granulés. En revanche, la production d'eau chaude sanitaire est assurée par une surface de capteurs solaires de 6 m². Pour ce qui est de l'électricité, M. Lutz n'a pas choisi une production sur place. Les besoins sont couverts par le courant éolien du fournisseur d'énergie régional car la production par des éoliennes est plus écologique qu'avec des «capteurs solaires installés sur le toit», selon l'architecte.

L'idée de «Green Offices», qui est de contribuer autant que possible à une consommation économe en énergie ainsi qu'à un concept d'alimentation écologique, fonctionne également aux «petits coins»: chaque étage est pourvu de toilettes sèches qui n'utilisent pas d'eau pour la chasse. Les matières solides et liquides tombent dans un compost inodore au sous-sol et peuvent être directement réutilisées comme engrais dans le jardin.

L'eau est également utilisée avec parcimonie dans l'immeuble de bureaux écologique de Givisiez. L'eau de pluie est récupérée sur la toiture pour alimenter les lavabos. (Paul Knüsel)



Illustr. 105: Cage d'escalier.

Illustr. 106: Poste de travail.

Rénovation d'un bâtiment habité

Objet

Habitat locatif,
Segantinistrasse
200
8049 Zurich

Maître d'ouvrage

Peter Rieben,
Markus et Sara
Rieben, Zurich

Auteur du projet

Kämpfen für
Architektur, Beat
Kämpfen, Zurich

Collaboration
Nadja Grischott

Concept énergétique

Naef Energie-
technik, René Naef
Zurich

Le bâtiment ressemble à beaucoup d'autres; en tous cas, ce type de construction est très répandu, dans toute la Suisse. Depuis sa construction, en 1954, la maison n'avait guère subi de travaux de rénovation. La façade sud-ouest et le chauffage avaient été renouvelés. La rue Segantini fait partie des emplacements les plus recherchés de la ville de Zurich; la maison se trouve donc dans la catégorie supérieure du classement de la Banque Cantonale de Zurich (ZKB). (Dans cette catégorie, les prix des terrains se situent autour de 1500 francs par m².) La maison est proche du Höggerberg, lieu de promenade, et du centre du quartier et du centre-ville.

Programme des locaux

Le sous-sol semi enterré se compose des caves et d'un appartement de quatre pièces. Le rez-de-chaussée et le premier étage comprennent chacun un appartement de 3 et de 4 pièces. Les combles abritent les galetas des appartements. Le volume est de 1595 m³, la surface habitable nette est de 367 m², la surface de référence énergétique de 540 m².

La substance bâtie est en très bon état. Les façades latérales et le mur mitoyen constituent la structure porteuse. Les murs extérieurs (murs à double paroi sans isolation intermédiaire) ont une épaisseur de 32 cm. En bon état, le crépi minéral est conservé. Des dalles en béton armé séparent les étages, un plancher à hourdis a été réalisé entre le rez-de-chaussée et la cave. La charpente de la toiture a été conservée car en bon état, la façade pignon a été rénovée il y a quelques années selon le système de façade compacte. Les tuiles sont posées sur une sous-toiture en bardeaux de bois. Les balcons et garde-corps ont souffert des intempéries, la rouille ronge certaines dalles de balcon, au niveau de l'armature. La plupart des fenêtres datent de 1954, quelques-unes sont plus récentes. Les doubles vitrages sont de simple facture. Les revêtements de sol ont été remplacés pour la plupart, les cuisines et les salles de bain sont dans leur état d'origine. Le chauffage à mazout date de 1983, la chaleur est diffusée par des radiateurs, la production d'eau chaude sanitaire est assurée de manière décentralisée par des chauffe-eau électriques.



Illustr. 107: L'immeuble collectif avant la rénovation.

Réglementations du droit de la construction

- Zone: W2bll, ce qui signifie 1 sous-sol, 2 étages entiers et 1 étage d'attique
- Indice d'utilisation: 40 % (le sous-sol et l'attique ne sont pas intégrés.)
- Surface au sol max.: 349 m² (avant rénovation 325 m²)
- Hauteur du bâtiment: 8,5 m (avant rénovation: 6,4 m à 8,5 m)
- Longueur du bâtiment: 19 m
- Distance à la limite: 5,0 m

La réserve de 24 m² suffit pour agrandir la surface habitable de chacun des étages entiers de 12 m². L'aménagement du logement en attique est conforme au Règlement de construction assez complexe de la Ville de Zurich, selon lequel seule une partie de la surface de l'attique peut être entièrement aménagée. La surface de l'attique n'est pas prise en compte pour déterminer la surface habitable maximale.

La loi sur l'énergie du canton de Zurich autorise un dépassement maximal de la limite de construction de 15 cm en cas d'isolation ultérieure des façades. Les dérogations ne sont guère négociables en cas de bâtiments alignés sur rue. Pour les bâtiments non-contigus, comme c'est le cas dans la rue Segantini, les isolations de plus de 15 cm sont exceptionnellement autorisées. Dans le cas présent, elles mesurent 24 cm.

Le mandat des architectes

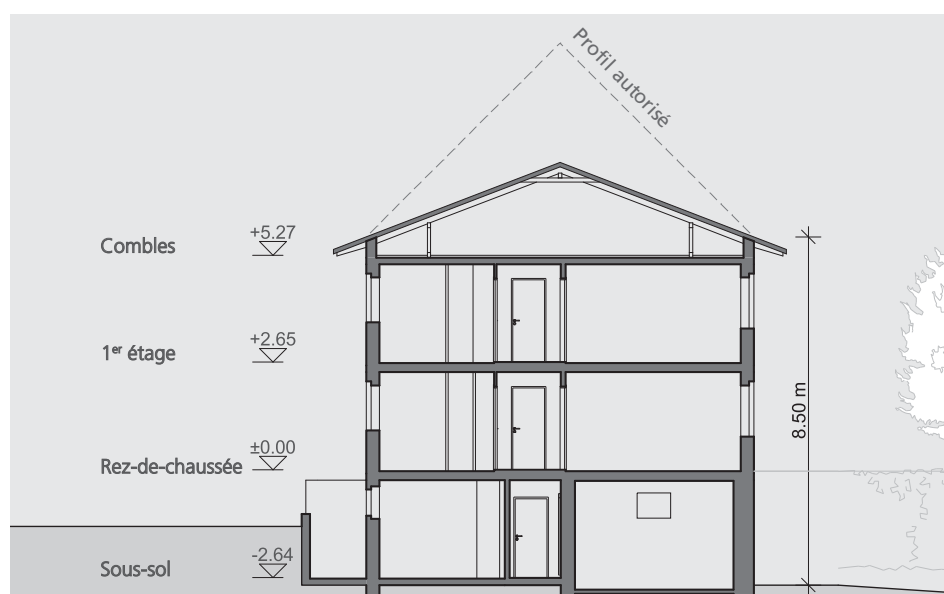
- Optimisation de la surface utile, aménagement d'un appartement en attique
- Assainissement de l'enveloppe du bâtiment selon le standard Minergie-P, tout en garantissant la qualité architectonique.
- Remplacement, respectivement pose d'installations techniques: nouveau système de chauffage, nouveau système d'aération, nouvelles installations sanitaires, nouvelle installation électrique
- Aménagement intérieur: nouvelles cuisines et salles de bain
- Les transformations doivent valoriser les structures et matériaux existants (aspect: énergie grise).

Le bâtiment rénové pourrait ainsi atteindre trois objectifs majeurs:

- Maintien de la valeur de la maison à long terme
- Action écologique de la rénovation et de l'utilisation
- Viabilité économique

Trois solutions s'ouvrent à nous.

- Une rénovation douce. Inconvénient: les plans d'appartement ne peuvent pas être suffisamment améliorés.
- Une construction de remplacement. Inconvénient: la substance bâtie en bon état n'est pas valorisée ce qui se traduit par des dépenses en énergie grise.
- La rénovation de haute qualité (Minergie-P). Avantages: une surface habitable



Illustr. 108: Coupe à travers le bâtiment.

supplémentaire de 128 m²; un confort supérieur; des besoins énergétiques plus faibles; un chantier de courte durée; une qualité élevée grâce à des éléments de construction préfabriqués.

Conclusion: une «nouvelle» maison tout en conservant la substance bâtie existante.

Agrandissement et rénovation

Les deux appartements de 4 pièces sont augmentés de 12 m² chacun, au niveau de la salle de séjour. Un grand balcon de 19,1 m² y a également été ajouté. Les trois autres pièces n'ont pas été modifiées. La cuisine est devenue la salle de bain, attenante à la nouvelle cuisine. Les appartements de 3 pièces (66 m²) sont restés en grande partie inchangés, à l'exception de nouveaux aménagements de salle de bain et de cuisine dans emplacement d'origine; les nouveaux balcons de ces appartements mesurent 7,6 m². Le nouvel appartement de 4 pièces (107 m²) dans l'attique se trouve au-dessus de l'ancien bâtiment; sa terrasse mesure 40 m² et offre une vue sur la ville. Le petit balcon sur la façade sud-est est orienté, comme les surfaces extérieures des logements 3 pièces, vers la région de promenade de Hönnggerberg. L'appartement en attique présente un potentiel locatif élevé grâce à l'emplacement, à l'ensoleillement, à la vue, au confort et à l'équipement. Tous les nouveaux éléments de constructions sont préfabriqués en bois et habillés sur place d'un revêtement en

mélèze. Le projet a dû être adapté en raison d'un recours: l'extension de l'habitation a eu lieu sur la façade latérale plutôt que sur la façade avant. Les balcons reposent sur leurs propres piliers et sont complètement séparés de la maison sur le plan thermique.

Fenêtres

Les fenêtres sont alignées sur la face intérieure des éléments en ossature bois. Le châssis dormant est ainsi en grande partie isolé. Ce positionnement du châssis réduit le vide lumière par rapport aux anciennes fenêtres qui étaient alignées à l'intérieur sur l'encadrement de fenêtre ou le mur opaque. Ces encadrements sur les ouvertures de fenêtre entraînent une altération supplémentaire, même minime, de la lumière du jour car le vide lumière est diminué.

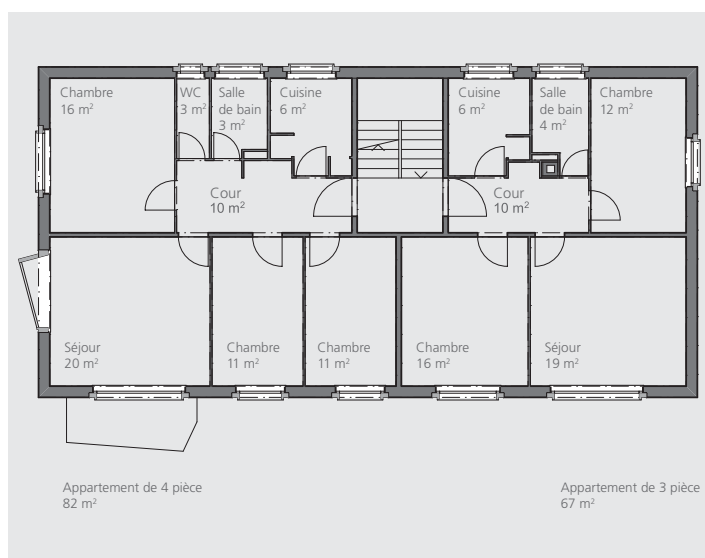
Production et distribution de la chaleur

Une pompe à chaleur air-eau ainsi que des capteurs solaires produisent la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Les capteurs tubulaires sont posés sur le toit du balcon supérieur, la pompe à chaleur est installée dans la remise. Les deux systèmes fonctionnent sur un accumulateur de chaleur. La chaleur est diffusée par les anciens radiateurs. En raison d'une puissance de chauffe nécessaire nettement inférieure, de faibles températures de départ à 38 °C suffisent.

Aération

Des études de variantes ont été réalisées pour le positionnement de l'appareil d'aération et le tracé des conduites. L'installation de l'appareil peut être envisagée dans la cave, à l'étage d'attique, sur le toit ou dans la remise attenante. C'est la remise qui est l'emplacement le plus avantageux. La décision est donc prise de distribuer l'air neuf via la façade, les conduites d'aération sont posées dans l'épaisseur de la couche d'isolation thermique. Au lieu d'une distribution par la façade, les planificateurs ont également étudié la variante consistant à intégrer la distribution de l'air dans des

Illustr. 109: Plan du rez-de-chaussée



plafonds suspendus. Les propriétaires ont estimé que la faible hauteur d'étage ne permettait pas d'adopter cette solution. La question de la distribution est étroitement liée à l'occupation des logements: la réalisation d'une distribution d'air neuf à travers la façade représente beaucoup moins de nuisances. Des modifications plus importantes à l'intérieur des locaux peuvent être réalisées dans les logements non occupés. Sur ce point, le choix de la distribution d'air pulsé est semblable à la question de la rénovation ou non des revêtements de sol.

Planification de la façade par éléments

Le projet Empa «Advanced Energy Efficient Renovation of Buildings» élabore et teste des procédés de rénovations d'habitations collectives avec des éléments préfabriqués. Un point essentiel du projet est la rénovation de la façade. Quatre étapes permettent de mettre en œuvre cette solution innovante:

■ Balayage 3DF de la façade du bâtiment ancien

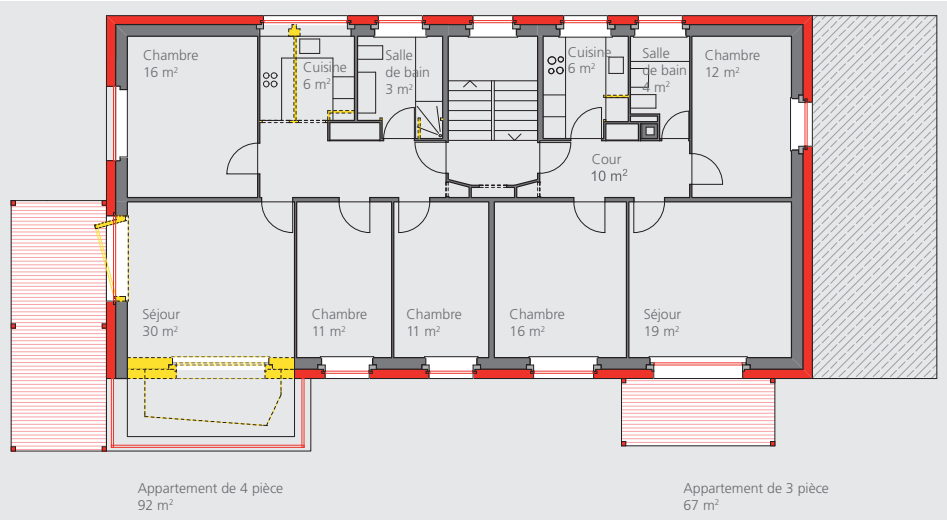
■ Avant-projet et projet de la façade à l'aide du relevé du bâtiment. Une définition des éléments est également établie. Il s'agit d'un plan de façade avec des éléments conçus précisément.

■ Préfabrication des éléments de façade dans un atelier spécialisé. Il s'agit de l'intégration des fenêtres, embrasures de fenêtres, conduites et tuyaux pour la distribution de l'air et de l'électricité pour l'entraînement des moteurs des stores. Suivant les cas, d'autres installations techniques peuvent également être intégrées dans les éléments.

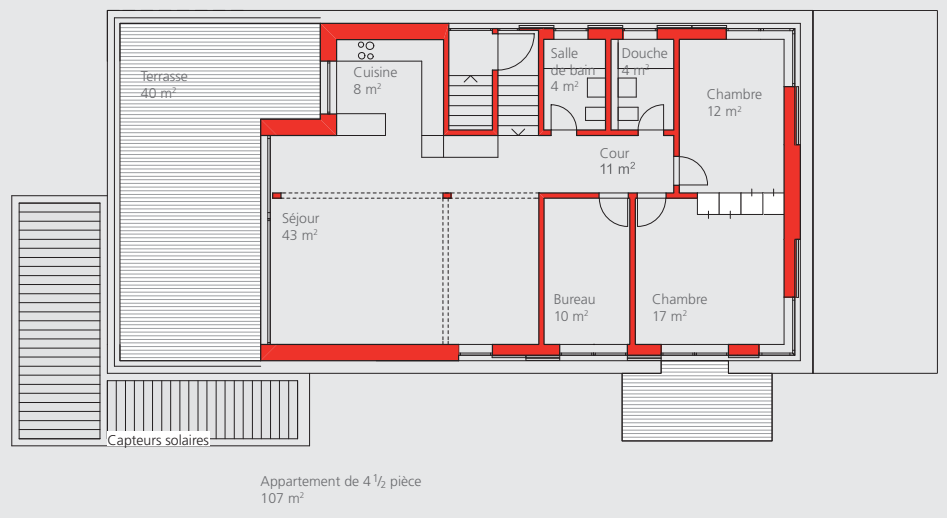
■ Installation et montage des éléments sur le chantier. La qualité du travail réalisé en amont apparaît au cours de cette étape: l'étanchéité, en particulier, en cas de pluie battante, doit être garantie. Lorsque le relevé par le balayage et la fabrication sont lacunaires, les éléments ne s'emboîtent pas.

Tableau 19: Valeurs caractéristiques de l'énergie.

Lieu: Segantinistrasse 200, 8049 Zurich	
SRE (surface brute au plancher chauffée)	660,5 m ²
Volume brut	1827 m ³
Volume net	1462 m ³
Facteur d'enveloppe du bâtiment	1,54
Besoins de chaleur pour le chauffage	
Valeur du bâtiment	84,3 MJ/m ²
Valeur limite 3801	305,5 MJ/m ²
Proportion des surfaces des fenêtres et des portes dans la SRE	25 %
Bilan énergétique	
Déperditions de chaleur par transmission Q_T	172 MJ/m ²
Déperditions de chaleur par renouvellement d'air Q_v	81 MJ/m ²
Apports de chaleur internes Q_i	98 MJ/m ²
Apports de chaleur solaires Q_s	186 MJ/m ²
Effet et apports de chaleur η_g	0,59
Valeurs U	
Façade nord-est	0,11 W/m ² K
Façade sud-ouest	0,14 W/m ² K
Façade sud-est	0,13 W/m ² K
Façade nord-ouest	0,11 W/m ² K
Fenêtres Valeur U	0,8 W/m ² K
Valeur g	0,54
Surface vitrée	0,92
Toit	0,10 W/m ² K
Dalle contre terre	0,21 W/m ² K
Plancher contre local non chauffé	0,22 W/m ² K
Mur contre la terre	0,58 W/m ² K
Puissance thermique en cas de température extérieure de -8°C	
Transmission	8,8 kW
Aération	4,3 kW
Total	13,1 kW
Besoin de puissance thermique selon Minergie-P	19,15 W/m ²



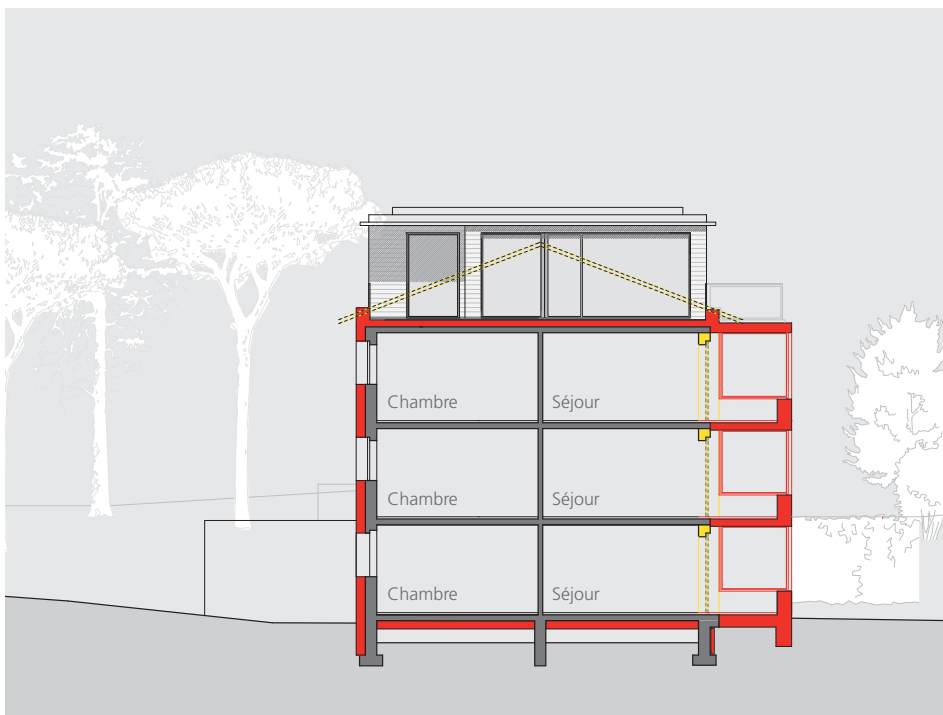
Illustr. 110: Plan du premier étage.



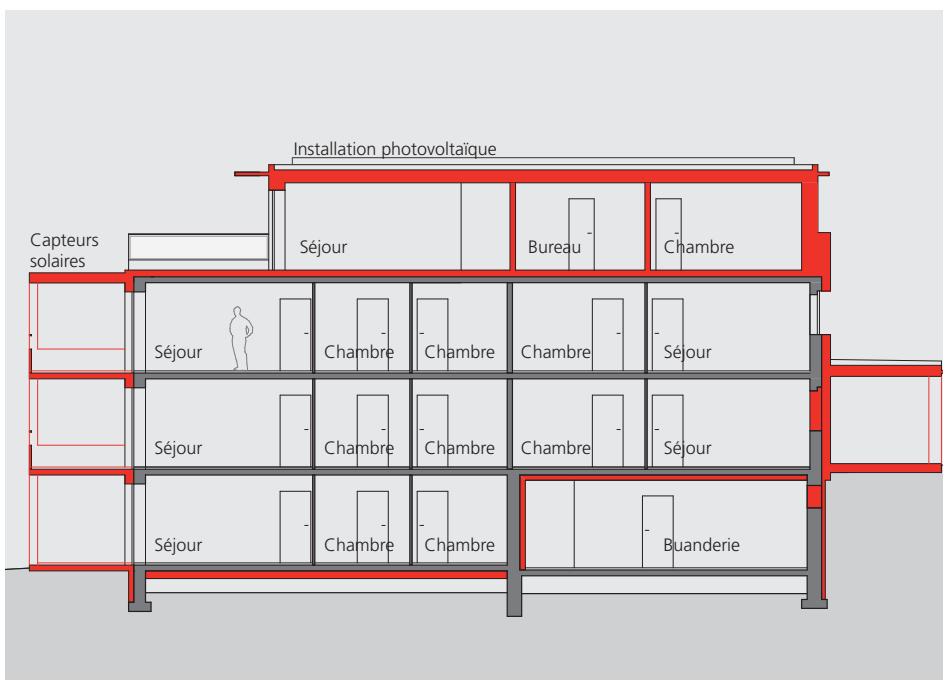
Illustr. 111: Plan de l'étage mansardé.

La rénovation permet une augmentation des revenus locatifs de 85 %				
	Avant la rénovation		Après la rénovation	
	Surface habitable nette	Revenu locatif	Surface habitable nette	Revenu locatif
Rez-de-chaussée: appartement de 4 pièces sur jardin	82 m²	1650 Fr.	92 m²	2505 Fr.
1 ^{er} étage: appartement de 4 pièces	82 m²	1650 Fr.	92 m²	2505 Fr.
1 ^{er} étage: appartement de 3 pièces	67 m²	1500 Fr.	67 m²	2024 Fr.
2 ^e étage: appartement de 4 pièces	82 m²	1650 Fr.	92 m²	2505 Fr.
2 ^e étage: appartement de 3 pièces	67 m²	1500 Fr.	67 m²	2024 Fr.
3 ^e étage: attique de 4,5 pièces	—	—	107 m²	3124 Fr.
Montant des loyers mensuels	(380 m²)	7950 Fr.	(517 m²)	14687 Fr.
Montant des loyers annuels		95400 Fr.		176244 Fr.

Tableau 20: Revenus locatifs avant et après (source: Calcul hypothèse de Roger Wiesendanger, ZKB, Zurich)



Illustr. 112: Coupe transversale.



Illustr. 113: Coupe longitudinale.

Comparaison des coûts énergétiques avant et après rénovation				
	Avant la rénovation		Après la rénovation	
	Besoins énergétiques	Coûts énergétiques	Besoins énergétiques	Coûts énergétiques
Par mois		888.35 Fr.		90 Fr.
Par an	63 700 kWh	10 660 Fr.	12 000 kWh	1080 Fr.
Surface de référence énergétique	540 m²		702 m²	
Consommation d'énergie	Mazout		Electricité et énergie solaire	

*Tableau 21: Coûts
énergétiques avant
et après.*



*Illustr. 114: Façade
sud-ouest.*



*Illustr. 115: Façade
sud-est.*



Illustr. 116: Plan schématique de la façade nord-est avec définition des éléments et conduits d'air extrait et d'air pulsé pour l'aération.

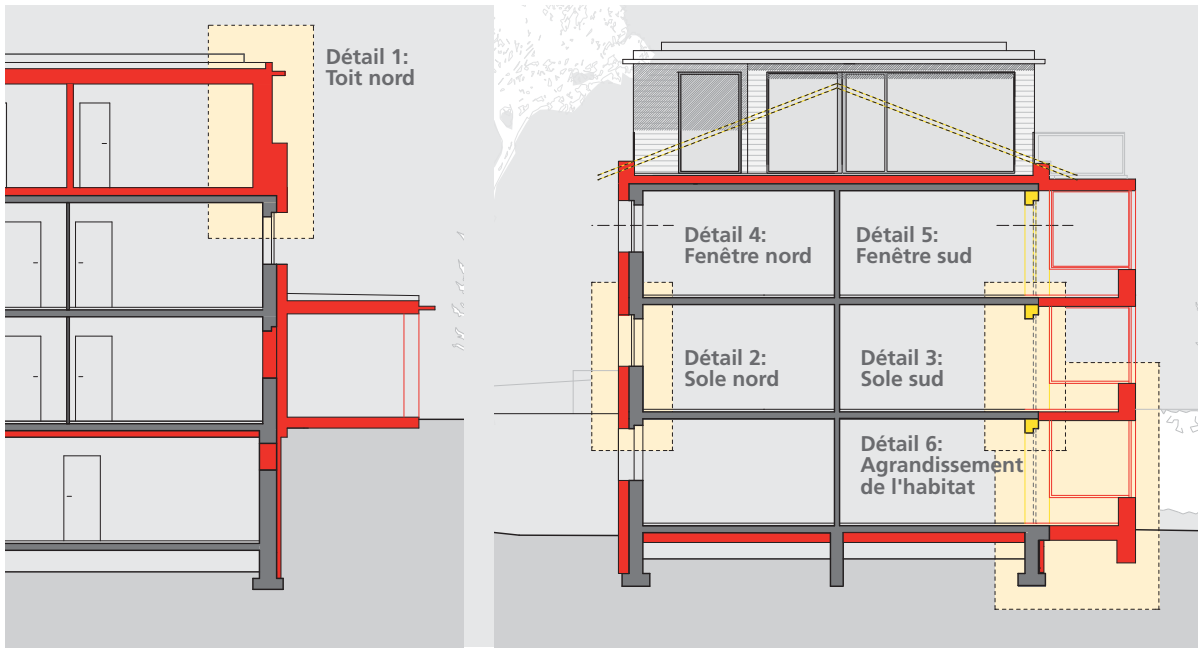


Illustr. 117: Plan schématique de la façade nord-est avec définition des éléments et conduits d'air extrait et d'air pulsé pour l'aération.



Illustr. 118: Plan schématique de la façade nord-ouest avec définition des éléments et conduits d'air extrait et d'air pulsé pour l'aération.

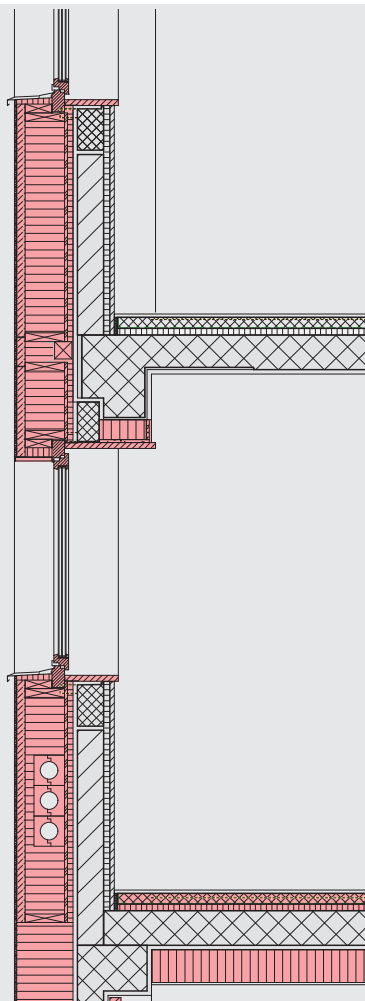
Illustr. 119: Plan schématique de la façade sud-est avec définition des éléments et conduits d'air pulsé pour l'aération.



Illustr. 120: Acrotère de toiture appartenant en attique

	Structure du toit	25 mm	Revêtement horizontal en mélèze
	30 mm Substrat		
	Fibres de séparation	Double mur	
	7 mm Tapis en débris de caoutchouc	390 mm Paroi en bois DG (élément)	
10 mm	Etanchéité bitumeuse polymérisée à 2 couches	175 mm Isolation	
20 mm	Lambrissage	25 mm Isolation	
	Espace ventilé	15 mm Plaque Fermacell	
	Sous-couverture	170 mm Ossature bois/Isolation thermique	
30 mm	Lambrissage	12.5 mm Plaque sous crépi	
360 mm	Chevrans/isolation thermique	10 mm Crépi extérieur	
30 mm	Lambrissage		
	Paroi en bois DG	Structure du sol	
35 mm	Lambrissage	15 mm Revêtement de sol anhydrite	
260 mm	Ossature bois/isolation thermique	50 mm Chape	
80 mm	Lattage croisé/isolation thermique	30 mm Isolation contre le bruit de choc	
15 mm	Plaque Kronotec	160 mm Béton existant	
	Papier Wind noir	20 mm Crépi existant	
30 mm	Espace ventilé		

Illustr. 121: Socle nord.



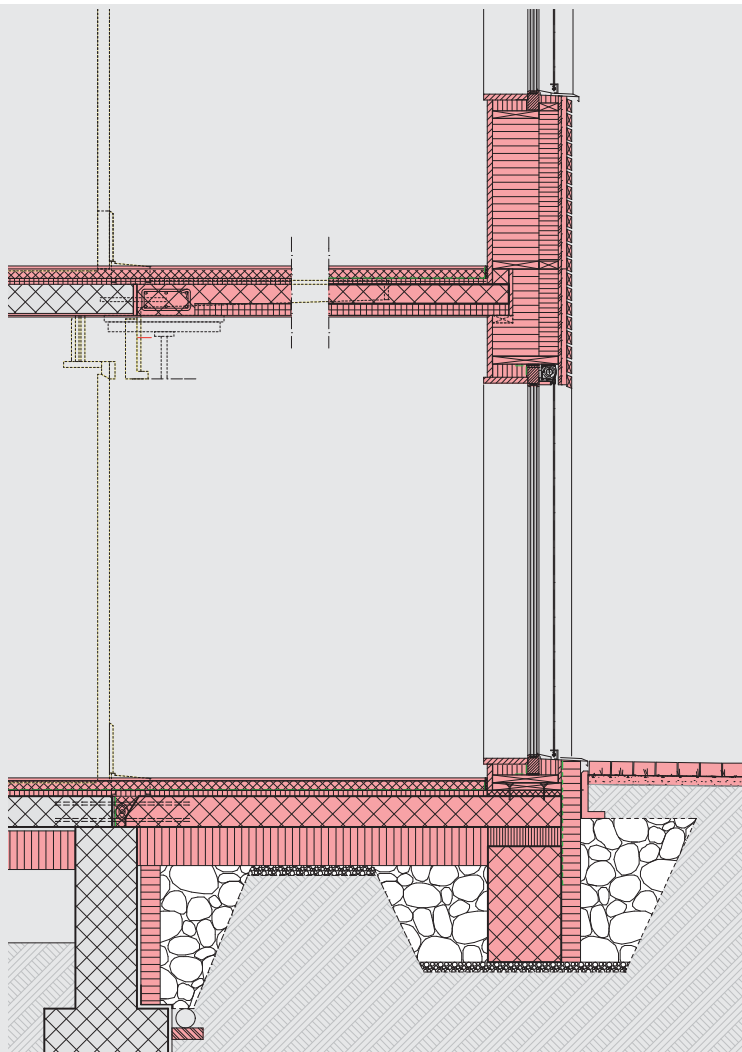
Mur extérieur

20 mm	Panneau en bois existant
30 mm	Isolation existante
320 mm	Mur extérieur existant en briques
20 mm	Crépi extérieur existant
30 mm	Isolation en laine de verre
15 mm	Lambrissage
180 mm	Isolation thermique
40 mm	Panneau en bois aggloméré
10 mm	Crépi extérieur

Structure du sol

15 mm	Revêtement de sol
50 mm	Chape
30 mm	Isolation contre le bruit de choc
160 mm	Béton existant
20 mm	Crépi existant
150 mm	Isolation
10 mm	Crépi

Illustr. 122: Socle sud.



Structure du sol étage

15 mm	Revêtement de sol
50 mm	Chape
30 mm	Isolation contre le bruit de choc
100 mm	Béton supérieur
60 mm	Plaque en béton préfabriqué
10 mm	Crépi

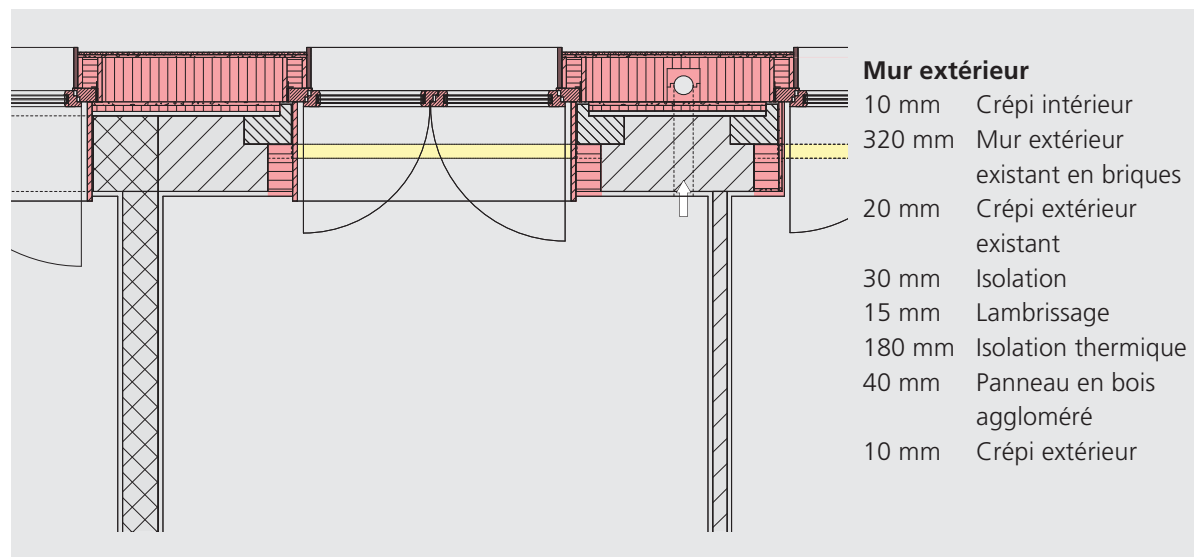
Structure du sol

15 mm	Revêtement de sol
50 mm	Chape
30 mm	Isolation
160 mm	Béton
200 mm	Isolation en verre cellulaire
50 mm	Béton maigre

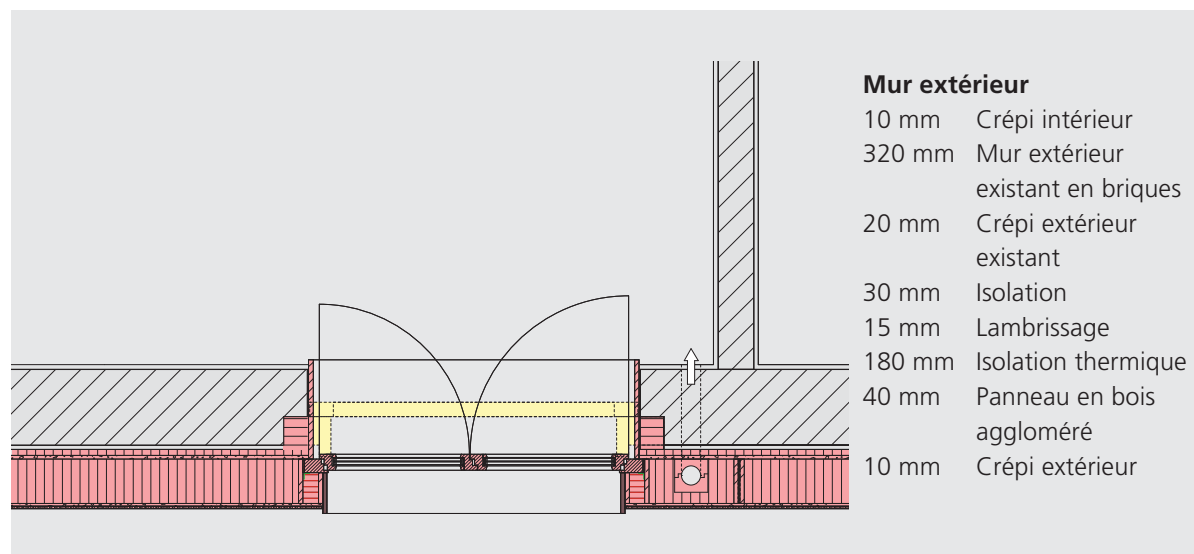
Paroi en bois Elément 445mm

	Tapisserie
35 mm	Lambrissage
240 mm	Chevrans/isolation thermique
100 mm	Lattage croisé/isolé
15 mm	Plaque Kronotec
	Papier Wind noir
30 mm	Espace ventilé
25 mm	Revêtement horizontal en mélèze

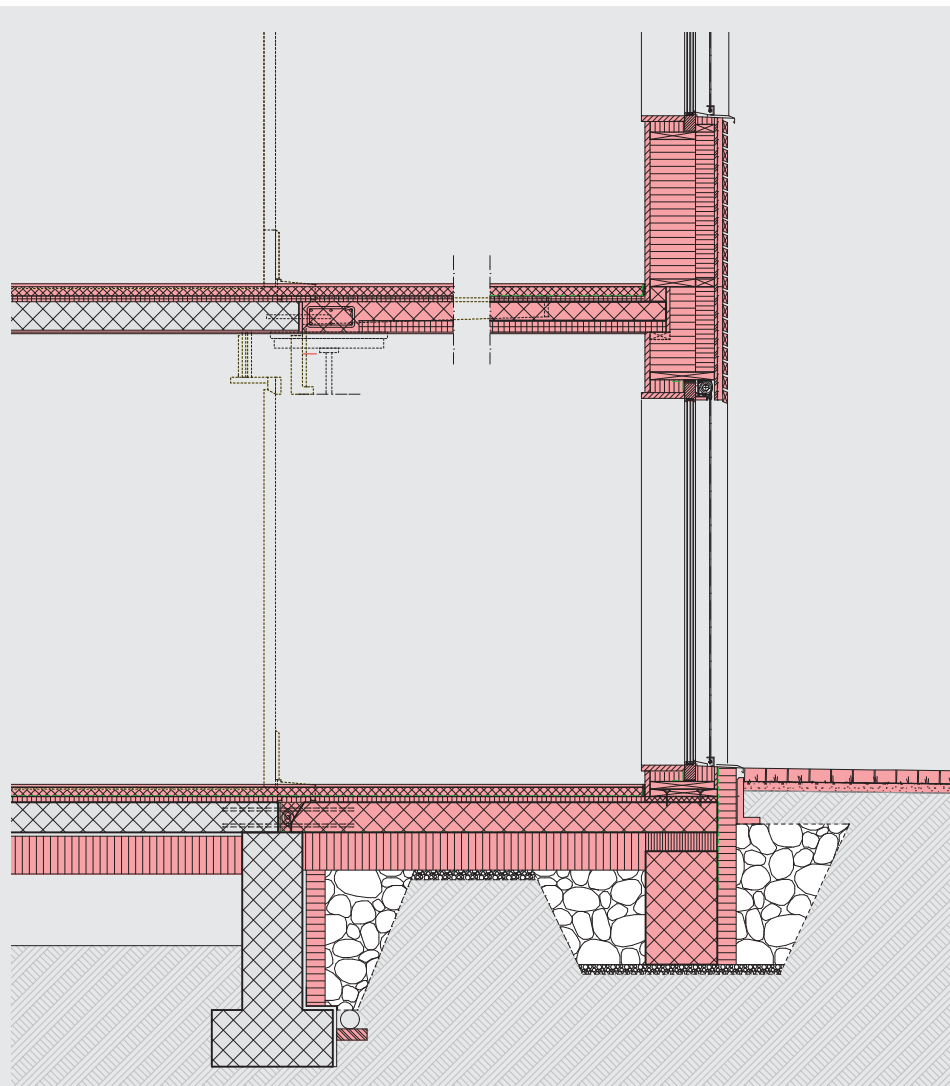
Illustr. 123: Fenêtre nord.



Illustr. 124: Fenêtre sud.



Illustr. 125: Agrandissement de l'habitat.



Structure du sol étage

15 mm	Revêtement de sol
50 mm	Chape
30 mm	Isolation contre le bruit de choc
100 mm	Béton supérieur
60 mm	Plaque en béton préfabriqué
10 mm	Crépi

Structure du sol

15 mm	Revêtement de sol
50 mm	Chape
30 mm	Isolation
160 mm	Béton
200 mm	Isolation en verre cellulaire
50 mm	Béton maigre

Paroi en bois Élément 445mm

	Tapisserie
35 mm	Lambrissage
240 mm	Côtes/ isolées
100 mm	Lattage croisé/ isolé
15 mm	Plaque Kronotec
	Papier Wind noir
30 mm	Ventilation arrière
25 mm	Coffrage horizontal en mélèze

Une première réalisation selon Coccum

Objet

Immeuble locatif
Rte de la Gare 7+9
1783 Pensier

Construction bois

Beer Holzbau AG
Obere Zollgasse 76
3072 Ostermundigen

Démolition, maçonnerie

Tacchini SA
Rte de Daillettes 21
1709 Fribourg

Maître de l'ouvrage

Commune de Barberêche
Carole Plancherel
et Hans-Rudolf Widmer
1783 Barberêche

Architecte

Lutz Architectes
Sàrl
Carole Arlettaz
Rue Jean Prouvé 14
1762 Givisiez

Un projet de recherche ingénieux

Né d'une collaboration entre partenaires privés et publics, le projet de recherche Coccum a pour objectif de développer un nouveau système pour la rénovation du parc immobilier existant. Il allie performance, écologie et rentabilité économique sur le long terme pour ses utilisateurs et ses investisseurs. Le but est de pouvoir proposer une nouvelle technique adaptable et reproductible pour l'assainissement thermique, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et la valorisation du bâti. L'immeuble locatif de Pensier est la première réalisation selon Coccum et aussi la première rénovation romande d'un immeuble locatif selon le standard Minergie-P. Depuis septembre 2011, ce locatif abrite neuf appartements et une surface administrative.

Un assainissement architectural complet

Le bâtiment de Pensier a bénéficié d'un assainissement à la fois technique et architectural. L'objectif était clairement de conserver une géométrie similaire, mais de lui donner des atouts résolument modernes. De géométrie irrégulière, ce bâtiment se compose de deux volumes mitoyens. Le premier date de 1956 et possède un niveau de moins que le second

construit en 1962. La différence significative entre les deux parties se situe au niveau de la composition de leur dalle : du hourdis pour le plus âgé et du béton armé pour le plus récent. En plan, cet immeuble offre un peu plus de 1000 m² de surface de référence énergétique (SRE). Pour des raisons de réglementation, les combles ne pouvaient être aménagées et exploitées. Pour simplifier la mise en œuvre et garantir la continuité de l'enveloppe thermique, il a alors été décidé de supprimer les toitures à pans au profit de toitures plates, ce qui facilitait aussi la pose de panneaux solaires thermiques. Ce bâtiment a aussi été revalorisé par l'ajout de balcons et la pose d'un nouveau revêtement de façade en plaques de fibro-ciment.

Pour cette rénovation, le choix des matériaux utilisés s'est fait selon les critères du développement durable et l'accent a été mis sur les compétences des entreprises locales. L'impact environnemental (énergie grise, rejet de CO₂, rejet de SO₂, etc.) a ainsi été diminué de plus de 50 % par rapport à l'utilisation de matériaux standards.

Consommation énergétique fortement réduite

Pour cette rénovation, une isolation périphérique préfabriquée a été retenue pour ses nombreux avantages, notamment l'optimisation thermique du bâtiment sans diminution de la surface habitable et la rapidité d'intervention sur le site. La pose



Illustr. 126 Le bâtiment avant sa rénovation.
(© Lutz architectes)



d'une nouvelle isolation d'une épaisseur de 340 mm composées de cellulose, fibre de bois et laine minérale a permis de réduire de près de 90 % la consommation énergétique du bâtiment. Les éléments préfabriqués en bois, comprenant isolation et fenêtres, ont été apposés sur les façades existantes du bâtiment. Grâce à cette méthode innovante, les 1000 m² de façade ont été montés en 10 jours seulement ! L'isolation de la dalle sur sous-sol s'est faite en dernier, à l'aide d'une poutraison en bois et d'isolation cellulose insufflée sur place.

Le chauffage à mazout a été remplacé par une pompe à chaleur à sondes géothermiques. L'eau chaude sanitaire est produite à 70 % par les 35 m² de panneaux solaires disposés en toiture. L'appoint est fourni par la pompe à chaleur.

Tous les appartements bénéficient maintenant d'une ventilation contrôlée double-flux. L'intégration des éléments techniques telle que la ventilation peut se faire soit dans les éléments de façade, soit dans les faux-plafonds. C'est cette deuxième solution qui a été retenue pour cette rénovation, car la hauteur d'étage à disposition le permettait.

Illustr. 127: Le bâtiment après sa rénovation.
(© F. Marro)

L'enjeu de l'éclairage naturel

Lors de rénovation de façade avec ce type de système, deux effets contribuent à réduire l'apport brut de lumière naturelle : le remplacement du vitrage d'origine par un triple vitrage dont le facteur de transmission lumineuse est quelque peu réduit, et le rétrécissement du vide de lumière par l'ajout d'isolation dans l'embrasure qui

obstrue dès lors une plus grande partie du ciel. Plusieurs mesures ont été entreprises pour pallier ce problème : les ouvertures ont été agrandies, la surface occupée par les cadres des fenêtres a été réduite et des revêtements fortement réfléchissants ont été employés sur les murs des locaux intérieurs.



Bâtiment	
Certificat	FR-051-P
Situation	1783 Pensier/Barberèche (FR)
Année de construction	1956 et 1962
Année de rénovation	2010–2011
Surface de référencement énergétique A_E	1107,5 m ²
Surface de l'enveloppe du bâtiment	Façades 993 m ² , toiture 435 m ² , dalle rez 305 m ² , total 1733 m ² avec facteur de réduction
Rapport de surface	1,565
Part de fenêtre et de portes à la surface de l'enveloppe du bâtiment	13,4 %
Besoins de chaleur pour le chauffage	
Valeur limite SIA 380/1 ($Q_{h,li}$)	185,6 MJ/m ²
Exigence Minergie-P	118,8 MJ/m ²
Valeur de l'objet avec débit d'air standard (Q_h)	97 MJ/m ²
Débit d'air neuf thermiquement actif (V_{th})	0,21 m ³ /h/m ²
Bilan énergétique	
Déperdition de chaleur par transmission (Q_T)	158,2 MJ/m ²
Déperdition de chaleur par aération (Q_v)	27 MJ/m ²
Apports de chaleur internes (Q_i)	97,6 MJ/m ²
Apports de chaleur par le solaire (Q_s)	105,7 MJ/m ²
Taux d'utilisation des apports de chaleur (η_g)	0,67
Construction (valeur U)	
Total fenêtres	0,70 à 0,86 W/m ² K
Vitrage (U_g)	0,5 W/m ² K
Cadre (U_f)	1,25 W/m ² K
Valeur g	0,54
Mur extérieur opaque	0,12 W/m ² K
Toiture	0,09 W/m ² K
Plancher sur sous-sol	0,17 W/m ² K
Couverture des besoins (part en %)	
Capteurs solaires, couverture des besoins d'eau chaude	70 %
PAC géothermique, couverture des besoins d'eau chaude	30 %
PAC géothermique, couverture des besoins de chauffage	100 %

Un Brin de passion

Objet

Villa d'habitation
Rue de la Losentze
1955 Chamoson

Maître de l'ouvrage

Claudio Ciani et
Simone Calame
Plantys 10
1955 Chamoson

Architecte

Cimeca SA
Rue de la Pelleuse 7
2207 Coffrane

Concepteur-projeteur

Planair SA
Bureau d'ingénieurs SIA
Pierre Renaud
108A, rue du Crêt
2314 La Sagne NE

Associer l'homme à son environnement

A 600 m d'altitude, à Chamoson en Valais, un immeuble de deux appartements, bénéficiant d'un ensoleillement annuel optimal de 2 100 heures et répondant au joli nom de Brin de passion, apparaît soudain, lové au cœur des vignes, tel un chat au soleil. Mais son isolement est tout relatif, les transports publics sont situés à moins de 200 mètres de la maison et l'autoroute se trouve à environ 4 km.

Les motivations des maîtres d'ouvrage, Simone Calame et Claudio Ciani ont été très claires dès le départ. Ils souhaitent favoriser l'exploitation des ressources renouvelables de manière cohérente afin d'en préserver leur régénération. Il fallait donc impérativement que leur bâtiment réponde à des qualités écologiques tout en ayant un impact minimum sur l'environnement. D'autre part, ils souhaitent également que leur bâtiment soit entièrement auto-

nome du point de vue énergétique et construit avec un minimum de nuisances électromagnétiques. De plus, la construction de l'immeuble devait être adaptée afin de répondre aux besoins de personnes handicapées, elle devait également être conforme aux normes antisismiques. Selon Simone Ciani-Calame: «Les plus grandes économies d'énergie se réalisent pendant la phase d'étude d'un projet. Construire en harmonie avec l'environnement et le climat, autrement dit en appliquant le concept bioclimatique, qui revient à analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement, le soleil et les vents dominants ainsi que concevoir un immeuble compact, orienté au sud, c'est finalement retrouver l'art de bâtir en associant au mieux l'homme et son environnement. Il ne s'agit pas d'une nouveauté, mais simplement d'appliquer des règles qui ne sont que l'expression d'un bon sens trop souvent perdu lorsqu'il s'agit de répondre à des impératifs tels que construire toujours plus vite et au meilleur coût possible.»



Illustr. 128: Brin de passion à Chamoson – un havre de paix en pleine nature. (VS-002-P)

Influence lunaire

L'immeuble est constitué de deux appartements. Le rez-de-chaussée abrite salon, salle à manger et cuisine ainsi que deux chambres à coucher, bain et WC de même qu'un local technique. Le premier étage comprend salon, salle à manger et cuisine, trois chambres à coucher, bain et WC, une grande mezzanine ainsi qu'un balcon au sud et une coursive au nord.

Pour la construction de Brin de passion, et selon le souhait des maîtres d'ouvrage, les matériaux renouvelables ont été largement plébiscités. C'est ainsi que l'ossature de la maison est en bois d'épicéa duo de 80 à 200 mm, avec contreventements à l'ancienne. La charpente quant à elle, est en bois d'épicéa non raboté de 100 à 200 mm. Le revêtement des façades extérieures est en lames de mélèze de 24 mm et le revêtement intérieur est en lames de sapin ou de pin. Ce bois a été coupé et façonné selon la «bonne lune» réduisant ainsi son temps de séchage, il a ensuite été stocké durant 2 ans à l'air. Il s'agit donc d'un matériel extrêmement stable et très sain. Ces différentes essences de bois ont été recouvertes de lasure à base de produits naturels.

Illustr. 129: Une construction en harmonie avec la nature.



Isolation naturelle

Pour l'isolation également, tout comme pour la charpente et les murs, l'accent a été mis sur des matériaux naturels.

L'isolation du radier est composée de trois couches de 60 mm de panneaux en fibres de bois naturel plus 40 mm de laine de cellulose. Pour les salles de bain, le choix s'est porté sur une isolation en liège particulièrement efficace.

En ce qui concerne les façades, l'isolation se compose de panneaux en fibres de bois de 100 mm, de l'ossature bois de 200 mm avec isolation de 200 mm de laine de bois, de 60 mm de laine de bois en pose horizontale et de 60 mm de laine de bois en pose verticale.

La toiture est isolée de la même manière que les façades, et sur l'extérieur, les panneaux en fibres de bois de 100 mm sont recouverts d'un lé d'étanchéité et d'une couverture de tuile de terre cuite «Joran» et de tuiles de verre. La ferblanterie est en acier inoxydable afin de permettre la récupération de l'eau de pluie. Cette eau est ensuite utilisée pour la machine à laver le linge, les WC et l'arrosage du jardin.

Illustr. 130: Cette construction en bois a utilisé 2 minutes de la croissance forestière suisse.



*Illustr. 131: A droite:
Fourneau à
granulés.*

*Illustr. 132: Installa-
tion photovoltaïque
sur le toit du bâti-
ment (en bas).*



Granulés de bois et photovoltaïque

Des choix énergétiques faisant appel aux énergies renouvelables ont bien entendu été privilégiés. L'installation électrique intérieure est disposée en étoile, complétée par des câbles blindés dans la partie nuit avec Bio-Switch. L'énergie électrique est apportée par 10 panneaux photovoltaïques d'une puissance de 1,5 kWp. Cette électricité est injectée dans le réseau communal. Le chauffage est assuré par deux fourneaux à granulés, soit un appareil par appartement, d'une puissance calorifique de 2,4 à 7,5 kW. La puissance absorbée par l'allumage est de 400 et 130 W pour l'air pulsée. Le solaire passif n'a bien entendu pas été oublié. De part sa situation, le bâtiment bénéficie d'un excellent ensoleillement. La surface vitrée de la façade sud est de 34 %, la façade nord présente une surface vitrée de 3,5 % seulement, et les façades est et ouest 10 %. Le bâtiment est équipé d'un puits canadien (4 tubes de 25 m de longueur et de 160 mm de diamètre) avec chambre de «tranquillisation». La ventilation de confort est assurée par deux appareils de type «Helios KWLEC 300 ECO» avec double flux et échangeur de chaleur, le débit de l'air est de 85 à 205 m³/h.

Bâtiment	
Certificat	VS-002-P
Année de construction	2008
Catégorie	Villa d'habitation
Surface de référence énergétique A_E (corrigée)	308,7 m ²
Surface de l'enveloppe du bâtiment	519,6 m ²
Rapport de forme	1,59
Part de fenêtre et de portes à la surface de l'enveloppe du bâtiment	0,145
Besoins de chaleur pour le chauffage	
Valeur limite SIA 380/1:2001 ($Q_{h,li}$)	61,1 kWh/m ²
Exigence Minergie-P (0,2 $Q_{h,li}$)	12,2 kWh/m ²
Valeur de l'objet avec débit d'air standard Minergie-P (Q_{h-HP})	10,8 kWh/m ²
valeurs effectives ($Q_{h,eff}$)	9,7 kWh/m ²
Débit d'air neuf thermiquement actif (V_{th})	0,21 m ³ /h/m ²
Bilan énergétique	
Déperdition de chaleur par transmission (Q_T)	30,7 kWh/m ²
Déperdition de chaleur par aération (Q_v)	7,5 kWh/m ²
Apports de chaleur internes (Q_i)	16,6 kWh/m ²
Apports de chaleur par le soleil (Q_s)	38,0 kWh/m ²
Taux d'utilisation des apports de chaleur (η_g)	0,48
Construction (valeur U)	
Total fenêtres	(U_w) 0,69–0,93 W/(m ² ·K)
Vitrage (U_g)	0,50 W/m ² K
Cadre (U_f)	1,40 W/m ² K
Valeur g	0,51
Mur extérieur opaque	0,1 W/m ² K
Toiture	0,10 W/m ² K
Plancher sur sous-sol	0,20 W/m ² K
Couverture des besoins (parts en %)	
Chaudière à granulés de bois	100 %
Capteurs solaires	
Couverture des besoins d'eau chaude	79,5 %
Chauffe-eau électrique	
Couverture des besoins d'eau chaude	20,5 %
Photovoltaïque	1,5 kWh/m ²
Indice de dépense d'énergie pondéré selon Minergie-P	21,3 kWh/m ²

Une maison sans chauffage

Objet Vivre l'expérience Minergie-P

Villa d'habitation
Le Pallin
1695 Villarlod

Dans la maison, il fait -6,2 degrés à l'extérieur et c'est une journée un peu couverte. Dans la maison, il fait 19 degrés et l'on se sent bien.» A Villarlod, petit village à 20 kilomètres de Fribourg, Marie-Claude Kaspar et son mari Thomas vivent dans le deuxième bâtiment Minergie-P de Suisse romande. Une habitation qui a la particularité de n'avoir aucune installation de chauffage, hormis un poêle d'appoint à bois dans la partie inférieure occupée par les bureaux du couple d'architectes.

Maître de l'ouvrage

Claudio Ciani et
Simone Calame
Plantys 10
1955 Chamoson

Architecte

Cimeca SA
Rue de la Pelleuse
7
2207 Coffrane

Concepteur-projeteur

Planair SA
Bureau d'ingénieurs SIA
Pierre Renaud
108A, rue du Crêt
2314 La Sagne NE

Qu'est-ce qui a motivé Marie-Claude et Thomas Kaspar à construire selon ce label exigeant? Une solide volonté de construire selon l'état de la technique et une sensibilité très grande pour le développement durable. «A notre retour dans le canton de Fribourg, après nos études à Zurich, mon mari a travaillé dans un bureau d'architectes qui construisait essentiellement Minergie. Cette éthique nous a convaincue et depuis que nous sommes à notre compte nous essayons toujours de travailler dans cette intelligence-là. Par respect global pour notre planète. Construire notre maison nous a permis de concrétiser nos propres idées, en adéquation avec nos valeurs et notre mode de vie», explique Marie-Claude Kaspar. Et son mari de com-

pléter: «Nous connaissons les avantages et le confort qu'apporte le label Minergie. Je souhaitais aller au-delà et vivre l'expérience Minergie-P, d'un point de vue personnel comme professionnel, pour ensuite pouvoir conseiller nos clients en toute connaissance de cause.»

Soleil et isolation optimale

Renoncer à une installation de chauffage a été possible grâce à l'excellente isolation (30 cm pour les murs extérieurs en béton, entre 38 et 52 cm pour les parties en bois), à des fenêtres à triples vitrages de même qu'à une enveloppe totalement étanche à l'air, en particulier aux points de jonction entre les divers éléments (murs et fenêtres par exemple). Un test officiel à l'aide d'une soufflerie couplée à un ordinateur a démontré un taux d'étanchéité à l'air de 0,22, soit le tiers de la valeur limite exigée par Minergie-P. «Preuve qu'il n'y a aucun micro-courant d'air non-maîtrisé», commente Marie-Claude Kaspar. Le concept énergétique et architectural de la maison a été basé sur le parcours du soleil, afin de bénéficier au maximum de l'énergie solaire. Les pièces de vie (séjour et cuisine), de même que la plupart des chambres, sont orientées au sud et profitent d'un ensoleillement maximum grâce à de nombreuses fenêtres sur toute la hauteur des façades. L'utilisation passive de l'énergie solaire et la resti-



Illustr. 133 Villa Kaspar – ils ont osé une maison sans chauffage (FR-002-P)



*Illustr. 134:
Des volumes d'habitation étudiés avec soin*

tution de chaleur des résidents et des appareils, tous de classe A, suffisent pour dégager au sein du bâtiment une température agréable, entre 18 et 21 degrés, même en hiver. «La température extérieure nous est indifférente, mais nous sommes dépendants du rayonnement solaire», souligne Marie-Claude Kaspar. Au fil des saisons, l'eau chaude est produite à 80 % par l'énergie solaire grâce à des capteurs sur le toit. Un appoint électrique assure le reste si nécessaire. «L'unique source de chaleur de la maison se trouve dans le bureau (volume techniquement séparé), orienté plein nord et qui est équipé d'un poêle à bois», précisent les architectes. L'énergie de chauffage consommée par année a été calculée comme équivalente à 4 stères de bois. Soit un coût total de moins de 500 francs.

Beaucoup de bien-être

Comment le couple vit-il cette maison Minergie-P? Première grande source de satisfaction, l'aération douce, qui assure un renouvellement de l'air continu et un très grand confort d'habitation. «Pas besoin d'ouvrir les fenêtres en période hivernale, nous avons en permanence de l'air frais

mais pas froid», relève Marie-Claude Kaspar. Et son époux d'enchaîner sur la qualité du sommeil: «Dans la chambre, la quantité d'oxygène reste stable et il fait en permanence entre 18 et 20 degrés. On dort beaucoup mieux!»

De nouvelles habitudes

Quant aux températures, si elles sont un peu limitées lorsque, en plein hiver, le soleil est aux abonnés absents, elles restent agréables selon Marie-Claude Kaspar: «Il ne fait pas froid! Et nous avons repris des habitudes de l'enfance, comme porter des vêtements plus chauds et non des t-shirts ou encore marcher avec des chaussures d'intérieur plutôt que pieds nus. Si la sonnette retentit, on fait entrer la personne, plutôt que de parler sur le pas de la porte restée ouverte. Et puis, nous sommes plus attentifs à notre environnement et nos sens sont davantage en éveil.»

Espaces fluides

Si les Kaspar ont mis leurs priorités sur la qualité de l'enveloppe du bâtiment, ils ont également pris beaucoup de soin à imaginer et concevoir les volumes de leur mai-

son. Avec ses façades brunes en laine de roche compressée type Rockpanel et sa forme oblongue qui caractérise les grandes fermes de la région, elle ne passe pas inaperçue à l'entrée du village de 300 habitants. Au rez, une baie vitrée flanquée d'une porte permet d'accéder au bureau, tandis qu'une autre porte ouvre sur un hall et les escaliers qui conduisent à l'appartement de 160 m². Ici, les espaces fluides et en continuité offrent des ambiances différentes. Le bois domine, contrastant sobrement avec le béton et la chape huilée restée visible utilisés pour le sol et le mur entre les escaliers et la salle de bain.

Ambiances lumineuses différentes

Le séjour et la cuisine offrent un point de vue magistral sur la colline de la Croix du

Sault qui surplombe le village. Côté nord, des fenêtres horizontales sont placées à hauteur des yeux pour profiter du panorama. Jeux de lumière donc, mais également jeux de couleurs sur les murs où le blanc immaculé côtoie le jaune et le orange. Quant au bureau d'architectes, au rez, il fait la part belle au béton apparent auquel sont juxtaposées des surfaces peintes en bleu, jaune ou vert. Totalement ouvert, il a été conçu pour pouvoir être transformé en appartement le cas échéant. Grâce à la préfabrication des éléments en bois et à une conception soignée dans les moindres détails, le chantier a duré à peine cinq mois. Commencé mi-juin 2006, il s'est achevé début novembre 2006.



Illustr. 135 Des fenêtres horizontales pour profiter du panorama

Couverture des besoins (parts en %)	
Poêle à bois	
Couverture des besoins de chauffage	100 %
Capteurs solaires	
Couverture des besoins d'eau chaude	80 %
Chauffe-eau électrique	
Couverture des besoins d'eau chaude	20 %
Indice de dépense d'énergie pondéré selon Minergie-P	23,3 kWh/m²
Bâtiment	
Certificat	FR-002-P
Année de construction	2006
Catégorie	Villa d'habitation
Volume construit selon SIA 416	1514 m³
Surface de référence énergétique A_E (corrigée)	434 m²
Surface de l'enveloppe du bâtiment	847,9 m²
Rapport de forme	1,80
Part de fenêtres et de portes à la surface de l'enveloppe du bâtiment	0,17
Besoins de chaleur pour le chauffage	
Valeur limite SIA 380/1:2001 ($Q_{h,li}$)	71,4 kWh/m²
Exigence Minergie-P ($0,2 Q_{h,li}$)	14,2 kWh/m²
Valeur de l'objet avec débit d'air standard Minergie-P (Q_{h-HP})	13,3 kWh/m²
valeurs effectives ($Q_{h,eff}$)	11,1 kWh/m²
Débit d'air neuf thermiquement actif (V_{th})	0,15 (m³/h)/m²
Bilan énergétique	
Déperditions de chaleur par transmission (Q_T)	31,8 kWh/m²
Déperditions de chaleur par aération (Q_V)	7,6 kWh/m²
Apports de chaleur internes (Q_i)	14,5 kWh/m²
Apports de chaleur par le solaire (Q_s)	35,8 kWh/m²
Taux d'utilisation des apports de chaleur (η_g)	0,52
Construction (valeurs U)	
Total fenêtres (U_w)	0,58–0,89 W/(m²·K)
Vitrage (U_g)	0,50 W/(m²·K)
Cadre (U_f)	1,08–1,19 W/(m²·K)
Valeur g	0,50
Mur extérieur opaque	0,11–0,14 W/(m²·K)
Toiture	0,07 W/(m²·K)
Plancher sur sous-sol	0,07–0,14 W/(m²·K)

Répertoire des mots clés

A

Acrotère de toiture 62, 63, 64, 148
 Aération 25, 97, 111, 119
 Aération douce, installation 12, 119, 121
 Aération, technique d' 111
 Air neuf 20, 111, 119, 155
 Air, traitement de l' 119, 123
 Appareil compact 116
 Appareils compacts 122
 Appareils électroménagers 5, 13, 15
 Apports solaires passifs 31, 54, 57
 Argon 57, 101
 Assainissement 46, 75, 79, 125
 Avant-toit 31, 55, 96, 100

B

Balcon 14, 31, 69, 81
 Bâtiments avant 2000, exigences 8
 Bâtiments d'habitation 5, 14, 19, 91
 Bâtiments existants 29, 30, 75
 Bâtiments neufs, exigences 7, 15
 Besoins de chaleur pour le chauffage 5, 91, 97, 137
 Biomasse 24
 Buanderie 27, 29

C

Capacité d'accumulation thermique 12, 55, 88, 98
 Cascade, principe de 119, 121
 Cave 21, 27, 97, 98
 Certification 15, 22
 Chaleur interne, apport de 19, 22, 87, 108
 Chaleur solaire, apport de 11, 31, 88, 98
 Charges thermiques internes 18, 129, 134
 Chaudière à bûches 114
 Chauffage 6, 12, 24, 140
 Chauffage à air 6, 13, 22, 87, 116
 Chauffage à air, débit volumique 25
 Chauffage à air, puissance thermique 117, 121, 123
 Chauffage à bois 10, 22, 117, 124
 Chauffage à distance 24, 112, 118
 Chauffage à granulés de bois 23, 24
 Chauffage à mazout 140, 153
 Chauffage au sol 12, 19, 87, 117, 121

Chauffage, technique de 111
 Chauffe-eau électrique 14, 24, 124, 140
 Chevrons, isolation des 38, 39, 148, 149
 Climat extérieur 40, 63, 79, 111
 Climatisation 7, 15, 24, 111
 Combles 29, 39, 79, 133
 Compacité 11, 14, 32, 79, 104
 Conductibilité thermique 29, 32, 33, 63
 Conduites de distribution 115, 118, 119, 124
 Confort, exigences 117, 124, 127, 131
 Console d'isolation thermique 35
 Construction à ossature bois 44, 45, 71, 88
 Construction en bois 30, 40, 62, 71
 Construction massive 30, 44, 63, 71
 Construction opaques, éléments de 29, 58, 75, 86
 Constructions en bois 6, 10, 33, 62
 Couche d'isolation contre les bruits de choc 42
 Couplage chaleur-force 114

D

Dalles en porte-à-faux, raccords 64
 Débit d'air 88, 119, 163
 Débit d'air neuf 22, 87, 111, 135
 Déperditions de chaleur par renouvellement d'air 55, 88, 104, 107, 137
 Déperditions de chaleur par transmission 27, 36, 54, 79
 Diffusion de la chaleur 118, 121
 Distribution de chaleur 11, 19, 22, 116

E

Eau de pluie, utilisation de l' 124
 Eclairage 7, 8, 13, 25
 Éléments de construction transparents 54
 Enveloppe thermique du bâtiment 10, 28, 74, 92
 Espace intérieur 11, 131
 Étage, nombre 32, 105
 Étanchéité à l'air 5, 30, 55, 75
 Étanchéité à l'air, mesure d' 17, 20
 Exigence primaire 5, 21, 87, 108
 Exigence primaire 112
 Exigences supplémentaires 6, 7, 8

F

Facteur b 64, 87
Facteur d'enveloppe 10, 82, 91, 103
Facteur d'enveloppe du bâtiment 85, 91, 108
Fenêtre 54
Fenêtre, cadre 57, 69, 71
Fenêtre, construction de la 58
Fenêtre de référence 55
Fenêtre de toiture 18
Fenêtre, montage de 30, 54, 58, 63
Fenêtre, pose, butée, 59, 81, 95
Fenêtre, valeur U 12, 14, 16, 25
Filtre à air 119, 120

H

Humidité, données 122
Humidité extérieure 132

I

Indice pondéré de dépense d'énergie 5, 12, 87, 107
Installation solaire 23, 115, 118, 119
Installations sanitaires 124, 141
Installations techniques 5, 30, 111, 124
Intercalaire 14, 16, 25, 54
Isolation thermique, matériaux d' 32, 33

J

Justificatif 15, 55, 93, 107

K

Krypton 57, 59, 100, 101

L

Locaux techniques 28
Loggia 31, 62, 74, 130

M

Maçonnerie de boutisses 34, 46, 75, 79
Minergie-P, procédure de calcul 15, 21, 86
Mur à double paroi 45
Mur en briques silico-calcaires 64, 67
Mur extérieur 29, 43, 50, 64, 79
Murs en béton armé 64, 66
Murs intérieurs 40, 50, 63, 75

N

Niveau sonore 119
Norme SIA 380/1, méthode de calcul 21, 86, 97

O

Ombrage 10, 31, 55, 79
Ombrage, ombres projetées 15, 30, 31, 80
Orientation du bâtiment 9, 90, 98, 103, 107
Outil de calcul 25, 109
Ouverture solaire 130

P

Parapet 63, 64, 68, 70
Périmètre d'isolation 27, 55, 66
Période de chauffage 31, 55, 79
Photovoltaïque 24, 113, 158, 159
Plafond 12, 39, 63, 79
Plafond en béton armé 41
Plancher 12, 20, 40, 62
Plancher en béton 63
Plancher en bois 37, 39, 40, 42
Poêles 117
Pompes à chaleur 16, 24, 114, 122
Pondération 5, 9, 23, 111, 114
Pondération, facteur 13, 21, 111, 115
Ponts thermiques, calcul 33, 59, 62, 64
Ponts thermiques, déperditions 29, 50
Production d'eau chaude 5, 111, 122
Protection incendie 137
Protection solaire, dispositif de 130
Protection solaire en été 12, 15
Protection thermique 5, 14, 27, 64, 98
Puissance thermique chauffage à air, besoins spécifiques 6, 11, 22, 123
Puits canadien 16, 119, 120, 133

R

Radiateurs 87, 102, 118, 121
Radier 29, 50, 157
Refroidissement 5, 12, 118, 132
Rejets thermiques 24, 115, 139
Rejets thermiques, utilisation des 7
Renouvellement d'air 6, 20, 31
Rénovation 9, 30, 74, 140

S

Salle de bain 18, 116, 142, 162
Société à 2000 watts 9
Socle 10, 29, 40, 149
Sondes géothermiques 19, 24, 125, 153
Sous-construction 29, 33, 37
Sous-sol, délimitation du 98, 99
Station météorologique 10, 59, 91, 98
Stockage, locaux de 27, 28
Surface de référence énergétique 11, 23, 74, 96
Surface vitrée 12, 31, 54, 88
Système de chauffage 121, 141

T

Taux de transmission d'énergie globale 54, 57, 129
Taux d'utilisation 55, 87, 137, 155
Technique solaire 115
Température ambiante en été 132
Température ambiante, régulation de la 86, 87, 98, 101, 102
Toit plat 37, 38, 39, 109
Toiture chaude 37, 39
Toiture inversée 37
Topfenster 61

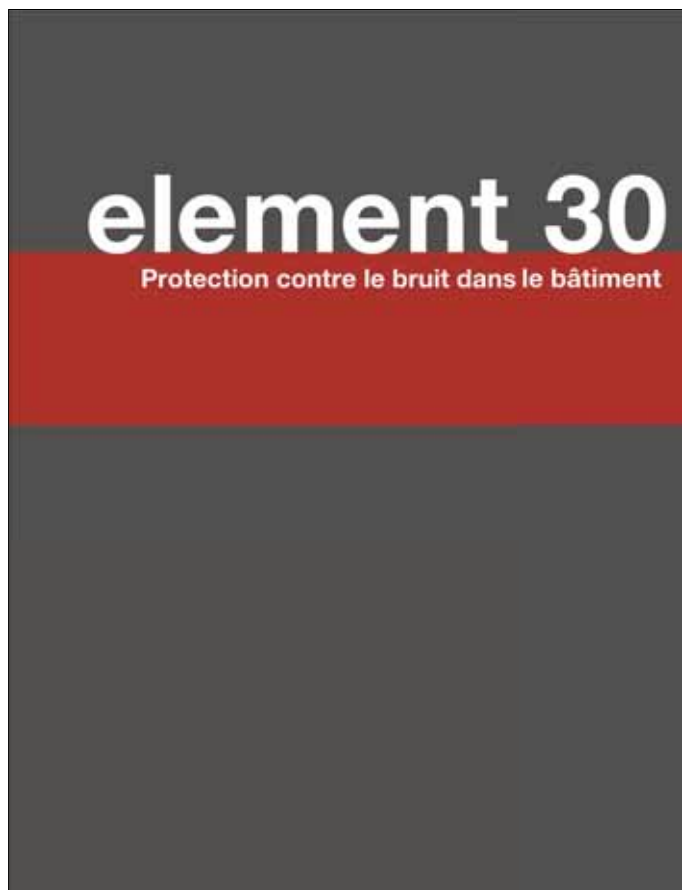
V

Valeur U 11, 28, 57, 79
Ventilation 7, 15, 119, 134
Verre, vitrage 14, 35, 58, 73
Vitrage 6, 12, 31, 54, 163

Z

Zone de mesure 20

Nouvelle édition de l'ouvrage standard



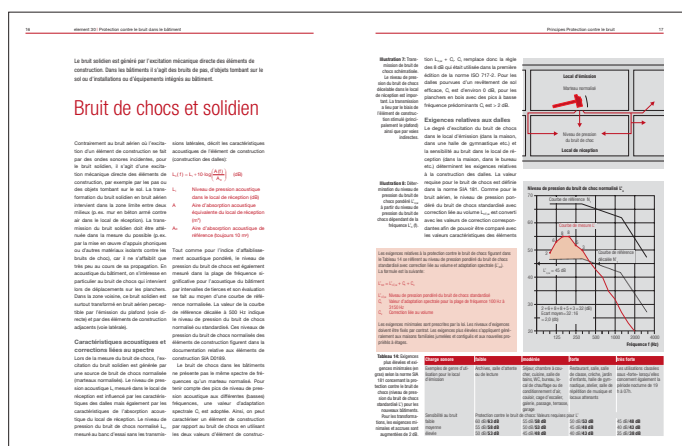
Depuis les années 1980, la série d'ouvrages spécialisés Element fait partie des instruments de travail les plus importants pour les professionnels de la construction en matière de formation et de pratique. Element 30, Protection contre le bruit dans le bâtiment, présente de nombreux exemples de construction et de mise en oeuvre, complété par de multiples données qualitatives et quantitatives. De plus, il présente les principes et exigences de la norme complexe SIA 181. Cette publication représente ainsi l'instrument de planification idéal pour les architectes, les ingénieurs et les acousticiens.

Auteurs: Jutta Glanzmann, Luboš Krajčí, Walter Lips, Ralf Meier et Werner Stalder.

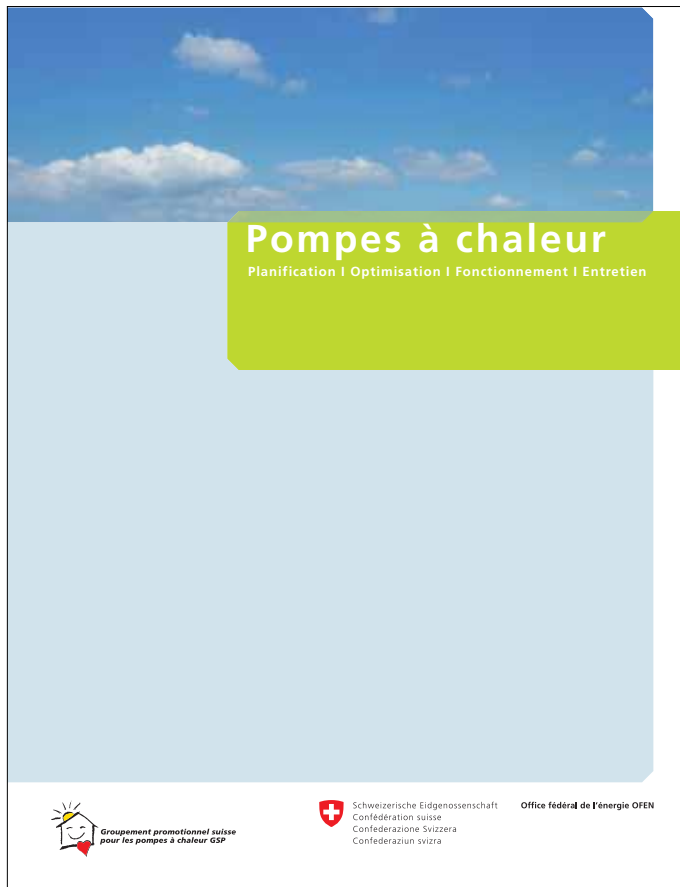
1^{ère} édition, 64 pages, quadrichromie,

50 Fr., Faktor Verlag, Zurich 2012

ISBN: 978-3-905711-11-0



Pompes à chaleur



Le document «Pompes à chaleur: Planification, optimisation, fonctionnement et entretien» constitue une initiative bienvenue pour la diffusion des connaissances sur le fonctionnement et les caractéristiques de ces outils de production de chaleur écologique à l'intention d'un large public spécialisé.

Editeur: Office fédéral de l'énergie, Domaine formation et perfectionnement. Auteurs: Peter Kunz (Coordination), Prof. Dr Thomas Afjei, Prof. Werner Betschart, Peter Hubacher, Rolf Löhner, Andreas Müller, Vladimir Prochaska. 80 pages, quadrichrome, 30 Fr. Faktor Verlag, Zurich, 2008.

