



## PROTECTION THERMIQUE ESTIVALE

La présente brochure est conçue comme un guide pratique pour les planificateurs souhaitant aborder de manière globale la protection thermique estivale. Elle traite ce sujet de manière approfondie en se basant sur l'étude Empa «Protection thermique estivale des pièces sous les combles – Analyse des facteurs d'influence sur le climat intérieur» et offre une vue d'ensemble des connaissances ainsi que du déroulement de la planification.

### Sommaire

1. Conditions cadres climatiques
2. Confort thermique
3. Base de l'étude Empa
4. Résultats de l'étude Empa
5. Influence du type d'isolant thermique
6. Calcul et évaluation des risques
7. Examen approfondi du potentiel d'influence
8. Construire de manière responsable: conclusions



### 1. Conditions cadres climatiques

Les mesures météorologiques en Suisse le confirment: dans la comparaison de 1961 à 1990, les températures moyennes estivales indiquent une tendance à la hausse à partir de 1980. En 2003, la hausse des températures atteignait même 4,8 °C, et les canicules de 2003 et de 2006 restent gravées dans les mémoires.

Le rapport de l'OcCC\* «Les changements climatiques et la Suisse en 2050» définit «ces vagues de chaleur, qui devraient continuer à augmenter, comme constituant le danger météorologique le plus important pour la santé humaine» et recommande des méthodes de construction et une planification urbaine adaptée à cette évolution.

\* OcCC: organe consultatif sur les changements climatiques instauré par le DFI/DETEC.

#### Écart moyen des températures estivales en Suisse de 1864 à 2020 par rapport à la moyenne OMM de 1961 à 2020

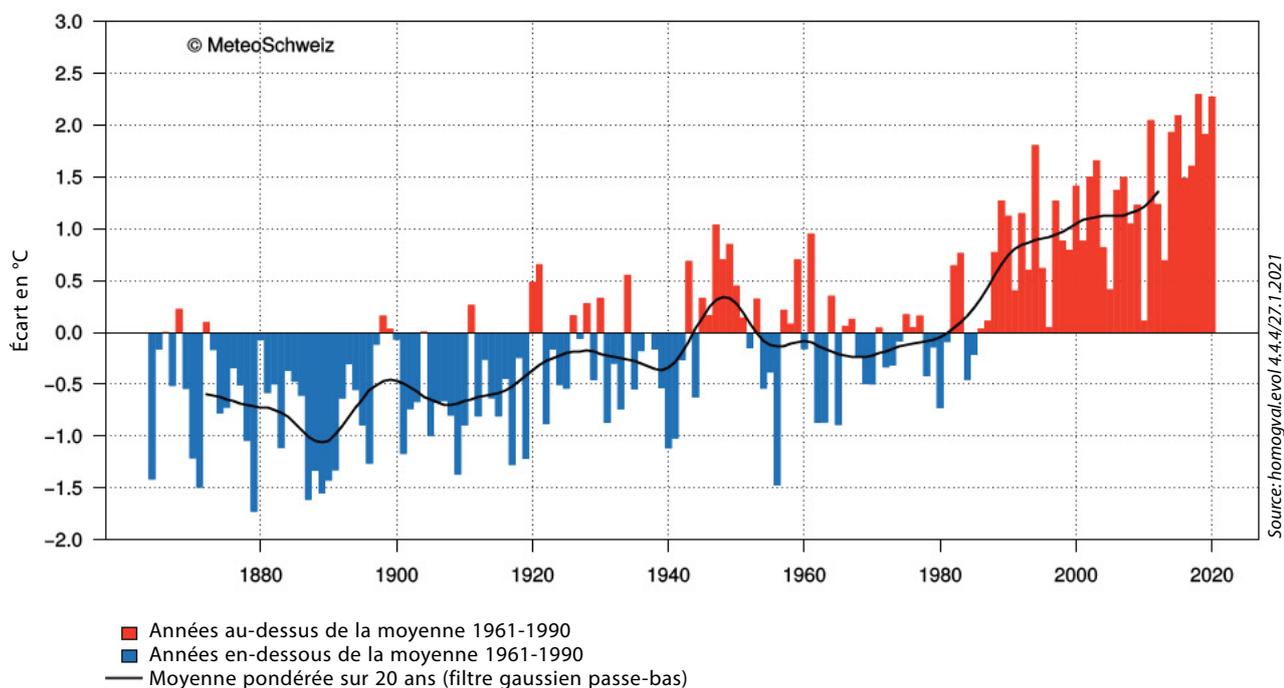


Fig. 1

#### Influence des changements climatiques sur la fréquence des températures extrêmes

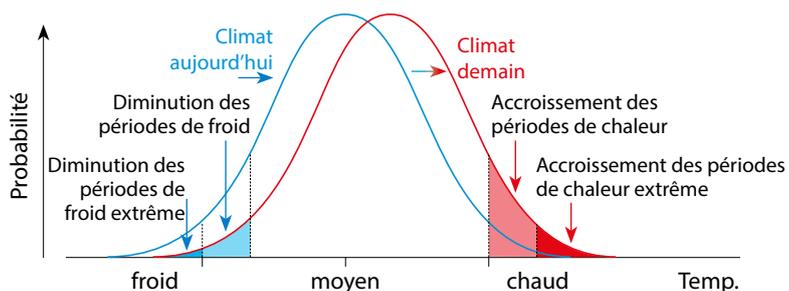


Fig. 2: accroissement des périodes de chaleur extrême, diminution des périodes de froid extrême

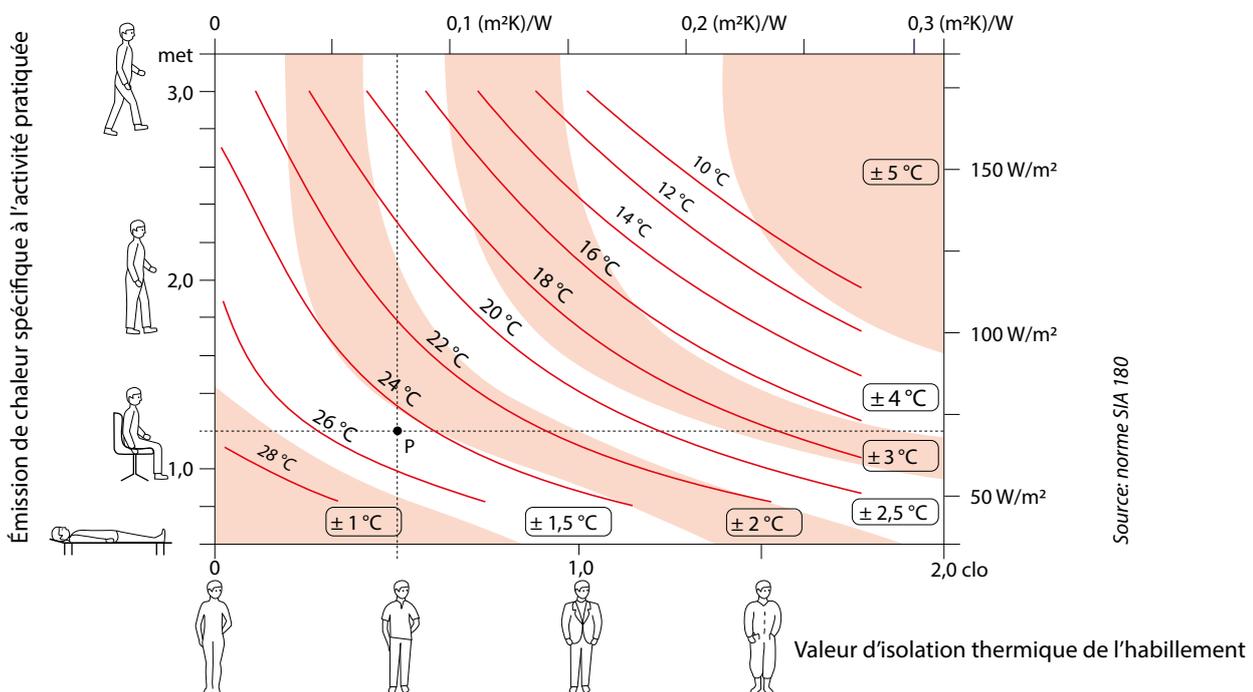


## 2. Confort thermique

### La température ambiante optimale en été

dépend de l'activité, de l'isolation thermique de l'habillement, de la température de rayonnement moyenne, de la vitesse de l'air et de l'humidité.

Fig. 3 de la norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments» montre les tolérances de température à l'intérieur desquelles «90 % des personnes se trouvant dans une pièce sont satisfaites du confort thermique».



Source: norme SIA 180

Fig. 3: températures ambiantes optimales en fonction de l'activité et de l'habillement. Exemple de lecture (P): un travail de bureau facile effectué en position assise (émission de chaleur spécifique 70 W/m<sup>2</sup> ou 1,2 met) avec habillement estival (résistance thermique 0,0775 (m<sup>2</sup>K)/W ou 0,5 clo) donne une température ambiante optimale ressentie de 24,5 °C avec une marge de tolérance de +/- 1,5 °C.

### Explication:

met = metabolic rate (émission de chaleur de l'être humain par m<sup>2</sup> de surface corporelle, 1 met = 58 watt par m<sup>2</sup>)  
 clo = clothing (isolation thermique de l'habillement)

### Confort et climat intérieur

#### L'influence sur le climat intérieur

des bâtiments en été peut être influencée de manière positive par un grand nombre de mesures:

#### Le comportement des usagers du bâtiment

influence de manière décisive le climat intérieur, notamment par l'installation de dispositifs d'ombrage et leurs habitudes en matière d'aération, et ce quel que soit le type de locaux.

#### Les conditions de construction

constituent, en plus du comportement des usagers mentionné ci-dessus, un autre facteur d'influence important. Cela concerne aussi bien la construction que l'architecture.

#### En raison du réchauffement climatique tendanciel

la protection thermique estivale revêtira à l'avenir une importance croissante.



Fig. 4: le comportement des usagers du bâtiment influence de manière décisive le climat intérieur.

### 3. Bases de l'étude Empa

Pour pouvoir analyser en détail les facteurs d'influence sur le climat intérieur estival, le département Technologies du bâtiment de l'Empa a créé en 2008, avec le programme de simulation des bâtiments HELIOS, l'étude paramétrique «Protection thermique estivale des pièces sous les combles – Analyse des facteurs d'influence sur le climat intérieur».

Comme il a été mentionné dans l'introduction, la température intérieure en été est influencée par une multitude de facteurs de construction et d'exploitation. Selon l'étude Empa, pour des conditions de transmission thermique identiques définies, les facteurs d'influence peuvent être structurés comme suit:

#### La pièce sous combles examinée et les conditions cadres

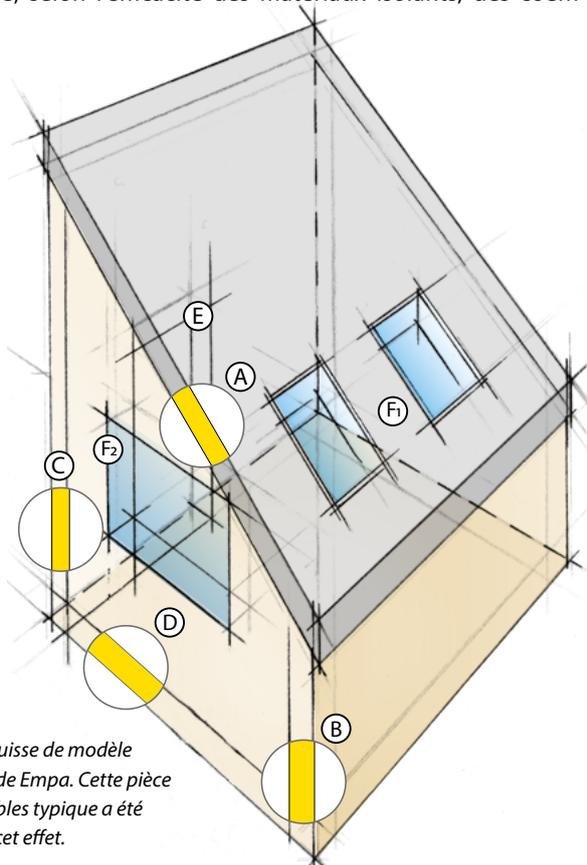
##### Pièces sous combles

Comme celles-ci sont exposées à un rayonnement solaire intense et qu'en présence d'une construction en bois il se pose la question d'une capacité thermique suffisante, l'on a choisi pour l'étude paramétrique une pièce sous combles typique avec structure en bois.

##### Standard d'isolation des éléments de construction

Pour la structure des parois extérieures et du toit, l'on a choisi une isolation thermique de 200 mm ou 200 + 60 mm. Cela donne, selon l'efficacité des matériaux isolants, des coeffi-

cients U de 0,19 à 0,22 W/(m<sup>2</sup>K) ou 0,15 à 0,18 W/(m<sup>2</sup>K). Une isolation de 200 mm satisfait aux exigences minimales énergétiques actuellement en vigueur pour la protection thermique des structures des parois et des toits, 200 + 60 mm. La pièce sous combles examinée et les conditions cadres se situent à l'intérieur de la fourchette de valeurs cibles des directives légales selon SIA 380/1:2016.



- (A) Toit: 28 m<sup>2</sup>
- 1 Tuiles de toiture/lattage de toiture
  - 2 Contre-lattage/ventilation arrière
  - 3 Sous-toiture panneau de fibres tendres 24 mm
  - 4 Isolation
  - 5 Pare-vapeur/joint d'étanchéité à l'air
  - 6 Lattage/conduites
  - 7 Lambris 13 mm
- (B) Paroi extérieure: 7,5 + 13,8 m<sup>2</sup>
- 1 Plaque de plâtre 12,5 mm
  - 2 Pare-vapeur
  - 3 Panneau OSB 15 mm
  - 4 Isolation
  - 5 Panneau de fibres tendres 30 mm
  - 6 Espace de ventilation
  - 7 Coffrage en bois 20 mm
- (C) Paroi intérieure: 18,2 + 13,8 m<sup>2</sup>
- 1 Plaque de plâtre 12,5 mm
  - 2 Montant en bois
  - 3 Isolation
- (D) Sol/plafond: 25 m<sup>2</sup>
- 1 Chape de ciment
  - 2 Couche de couverture
  - 3 Isolation
  - 4 Panneau en mélaminé 25 mm
  - 5 Poutre de support 80 × 180 mm
  - 6 Isolation
  - 7 Lattage/conduites
  - 8 Plaque de plâtre 12,5 mm
- Valeurs cf. éléments de construction et données techniques page 8
- (E) Porte: 1,8 m<sup>2</sup>  
E Porte de communication vers l'intérieur
- (F) Fenêtres: F1: 2 m<sup>2</sup> + F2: 1,2 m<sup>2</sup>  
F1 Fenêtre de toiture  
F2 Fenêtre côté ouest

### Température extérieure

La période ayant servi de base pour l'étude est celle du 25 juillet au 5 août 2003 du Design Reference Year (DRY) de la station météorologique Zurich-Kloten, une période présentant trois jours de canicule d'affilée et des températures atteignant presque 35 °C (cf. fig. 7 et rapport Empa, page 3).

### Température intérieure

L'évolution de la température a été calculée avec le programme de simulation dynamique des bâtiments HELIOS, avec des variations concernant les paramètres suivants:

- protection solaire
- aération nocturne
- type d'isolant thermique
- revêtement de sol
- charges thermiques internes
- revêtement intérieur en panneaux sur les parois et les plafonds
- dimension et orientation des fenêtres

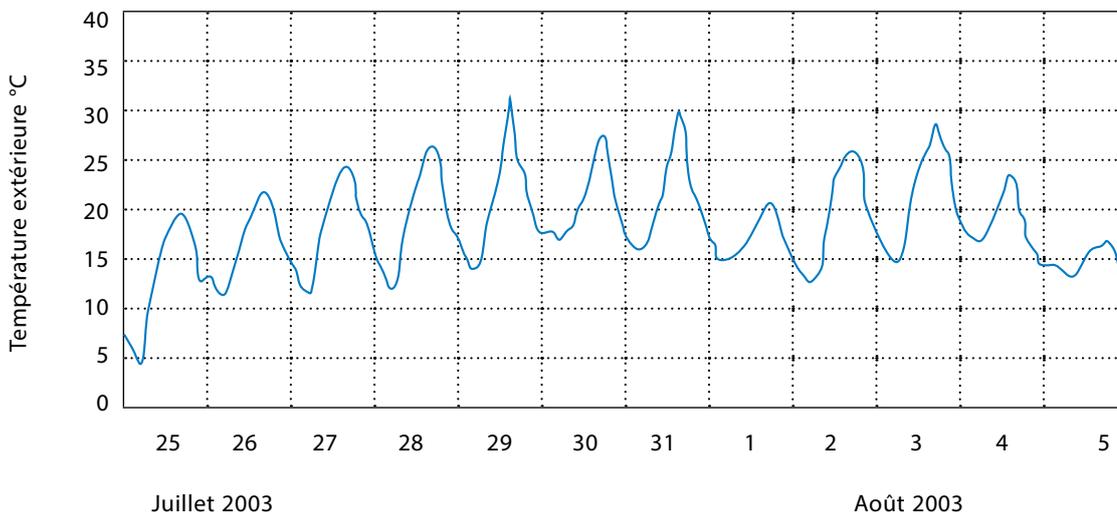


Fig. 6: courbe des températures extérieures Zurich-Kloten DRY juillet à août.

## ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION ET DONNÉES TECHNIQUES

## Éléments de construction et données techniques

## A Toit

Isolation thermique $\lambda_D = 0,032 \text{ W/(m K)}$	d	mm 200
Protection thermique hivernale et estivale		
Coefficient de transmission thermique:		
– avec ponts thermiques	U	W/(m <sup>2</sup> K) 0,19
– sans ponts thermiques	U <sub>0</sub>	W/(m <sup>2</sup> K) 0,14
Protection thermique estivale		
Coefficient de transm. therm. dyn.	U <sub>24</sub>	W/(m <sup>2</sup> K) 0,10
Capacité thermique	k <sub>i</sub>	Wh/(m <sup>2</sup> K) 5

## B Paroi extérieure

Isolation thermique $\lambda_D = 0,032 \text{ W/(m K)}$	d	mm 160
Protection thermique hivernale et estivale		
Coefficient de transmission thermique:		
– avec ponts thermiques	U	W/(m <sup>2</sup> K) 0,20
– sans ponts thermiques	U <sub>0</sub>	W/(m <sup>2</sup> K) 0,16
Protection thermique estivale		
Capacité thermique	k <sub>i</sub>	Wh/(m <sup>2</sup> K) 7

## C Paroi intérieure

Isolation thermique 0,035 W/(m K)	d	mm 60
Protection thermique estivale		
Capacité thermique	k <sub>i</sub>	Wh/(m <sup>2</sup> K) 5

## D Sol/plafond

Isolation contre les bruits d'impact $\lambda_D = 0,032 \text{ W/(m K)}$	d	mm 20
Isolation thermique $\lambda_D = 0,035 \text{ W/(m K)}$	d	mm 180
Protection thermique estivale		
Capacité thermique	k <sub>i</sub> en haut	Wh/(m <sup>2</sup> K) 15
Capacité thermique	k <sub>i</sub> en bas	Wh/(m <sup>2</sup> K) 3

## E Porte

Porte 1,8 m<sup>2</sup> Capacité thermique k<sub>i</sub>: 4 Wh/(m<sup>2</sup>K)

## F Vitrages et protection solaire

	Protection solaire	Couleur	$\tau_{e,B}$	$\tau_v$	g
F <sub>1</sub> Fenêtre de toiture 2 m <sup>2</sup> Double-vitrage thermo-isolant	extérieur	pastel	0,1	0,08	0,09
F <sub>2</sub> Fenêtre côté ouest 1,2 m <sup>2</sup> Double-vitrage normal	extérieur	pastel	0,1	0,09	0,13



Fig. 7: les étages sous les combles sont aujourd'hui des logements extrêmement appréciés et offrent aussi un climat intérieur très agréable, à condition qu'il ait été accordé suffisamment d'attention à la protection thermique estivale.

## ÉTUDE EMPA

## 4. Résultats de l'étude Empa

Comme on pouvait s'y attendre, le type de protection solaire ainsi que les mesures d'aération pour l'évacuation des charges thermiques sont les mesures exerçant l'influence la plus importante sur la température intérieure.

## Influence de la protection solaire

Fig. 8 montre les courbes de température intérieure en fonction de **dispositifs d'ombrage** (pas de protection solaire, marquise à l'extérieur, stores à lamelles). Situation de départ: porte-fenêtre pour balcon, revêtement d'une seule couche de panneaux de plâtre aux parois et au toit, moquette, aération nocturne avec trois renouvellements d'air, utilisation normale et variante de matériau isolant laine de verre.

## Période du 25 au 30 juillet DRY

Var. 1: stores à lamelles — Var. 2: marquise —  
Var. 3: pas de protection solaire —

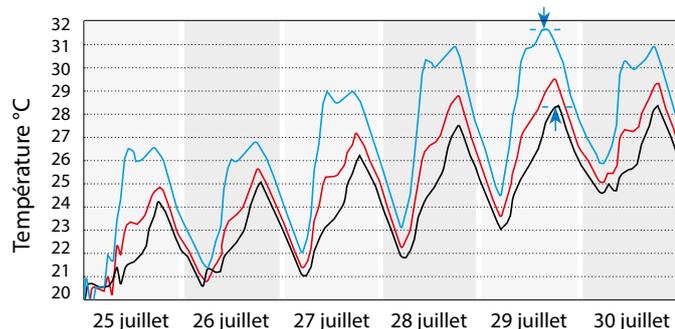


Fig. 8: même des dimensions de fenêtres modérées (20 % de la surface de sol; exposition est) entraînent des différences de température pouvant atteindre 3,5 °C. Les fenêtres plus grandes, exposées au sud ou les fenêtres de toiture entraînent des différences encore nettement plus importantes.

## Influence de l'aération nocturne

Fig. 9 montre les courbes de température intérieure en fonction de différents **scénarios de renouvellements d'air nocturnes** (pas de renouvellement d'air, un ou trois renouvellement(s) d'air par heure). Situation de départ: porte-fenêtre pour balcon avec store à lamelles, revêtement d'une seule couche de panneaux de plâtre aux parois et au toit, moquette, utilisation normale et isolation thermique.

## Période du 25 au 30 juillet DRY

Var. 1: 150 m<sup>3</sup>/h — Var. 2: 50 m<sup>3</sup>/h — Var. 3: 0 m<sup>3</sup>/h —

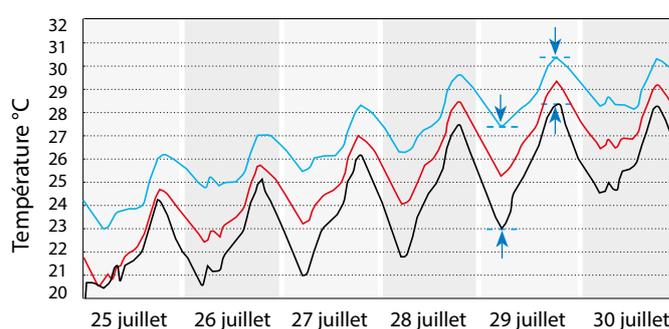


Fig. 9: comme le montrent les courbes de température noire et bleue (trois renouvellements d'air ou aucun), les différences de température peuvent atteindre 4,5 °C pendant la nuit et 2 °C pendant la journée (cf. flèches).



### 5. L'influence du type d'isolant thermique est négligeable

Une différence de température intérieure de 1 °C max due au type d'isolant thermique ne peut être prouvée qu'en présence des facteurs d'influence suivants: ombrage optimal (stores à lames à l'extérieur), aération nocturne (trois renouvellements d'air par heure), dimensions des fenêtres, capacités thermiques

et charges thermiques internes minimisées. Dès que l'un ou plusieurs des facteurs déterminants tels que les dimensions des fenêtres, l'ombrage, l'aération nocturne ou les charges internes sont moins optimaux ou que l'on présuppose une capacité thermique plus élevée, le type d'isolant thermique joue un rôle encore plus faible.

#### Période du 25 au 30 juillet DRY

Laine de verre — Laine de roche — Cellulose —  
Fibre de bois tendre — Fibre de bois —

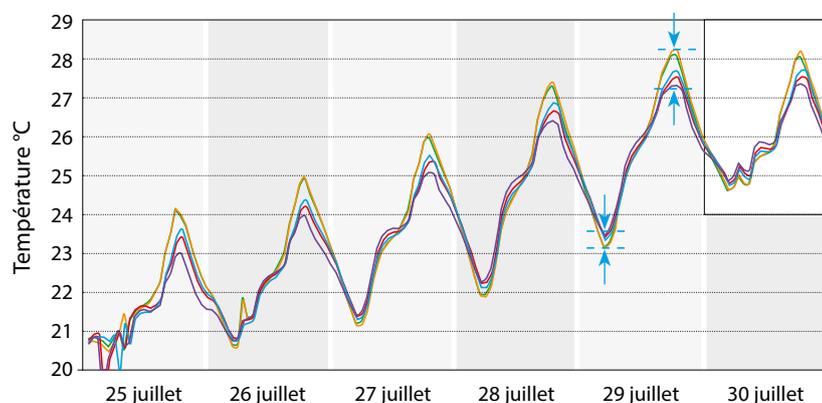


Fig. 10a: comme le montrent les courbes de température très proches, le choix du type d'isolant thermique est sans importance.

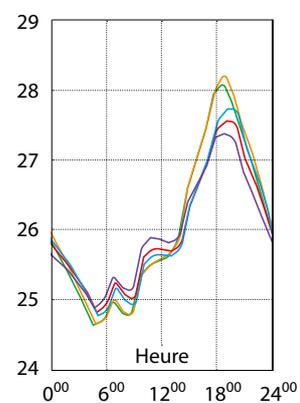


Fig. 10b: l'extrait agrandi montre les courbes de température au cours des 24 heures de la journée du 30 juillet DRY.



Fig. 11: la laine minérale, un isolant thermique universel et pourtant extrêmement efficace. Il est léger, facile à travailler et incombustible.

### 6. Calcul et évaluation des risques

Le justificatif pour la protection thermique estivale doit répondre à la norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments», à titre subsidiaire également aux normes SIA 382/1, SIA 342 et SIA 416 ainsi qu'aux fiches techniques SIA 2024 et 2028.

La norme SIA 180 propose trois variantes pour le justificatif, la **variante 1** avec «l'évaluation globale des cas standard» étant largement suffisante pour les bâtiments résidentiels. La **variante 2** se base sur un justificatif global effectué pièce par pièce qui ajuste les paramètres clés: surface vitrée, capacité thermique et protection solaire.

Tout comme le procédé 3 SIA 180, la variante 2 de Minergie permet d'optimiser le système «maison» dans son ensemble, toutes installations techniques confondues, en permettant, par exemple, de compenser la faible capacité thermique d'un bâtiment par une meilleure protection solaire ou par un nombre réduit de surfaces vitrées. La variante 2 de Minergie évalue également, comme la variante 3, le confort (charges internes, rafraîchissement nocturne, etc.) notamment les tem-

pératures ambiantes supérieures à 26,5 °C pendant moins de 100 heures. Le justificatif est établi au moyen de l'outil d'aide Protection thermique estival (SoWs), disponible gratuitement sur la page d'accueil de Minergie. L'«aide à l'utilisation des labels Minergie» fournit des informations pour l'utilisation de l'outil d'aide SoWS. La procédure de justification peut également servir d'outil de planification. La variante 3 du justificatif requiert une simulation thermique du bâtiment. Cette variante est requise lorsque le plan prévoit un système de refroidissement actif au moyen d'une unité de réfrigération ainsi que dans les cas particuliers.

#### Importance des facteurs d'influence

L'étude théorique de la protection thermique estivale d'une pièce sous combles avec surface vitrée modérée a montré que l'importance devant être accordée aux différents facteurs d'influence varie énormément. En raison de la qualité de l'isolation thermique des bâtiments actuels et de leur bonne étanchéité à l'air, les dispositions à prendre consistent à réduire au minimum les charges thermiques dans les pièces et à évacuer celles-ci de manière ciblée par des mesures d'aération nocturne. Fig. 12 montre les différents facteurs d'influence et leur impact sur les températures ambiantes maximales.

#### Importance des différents facteurs d'influence

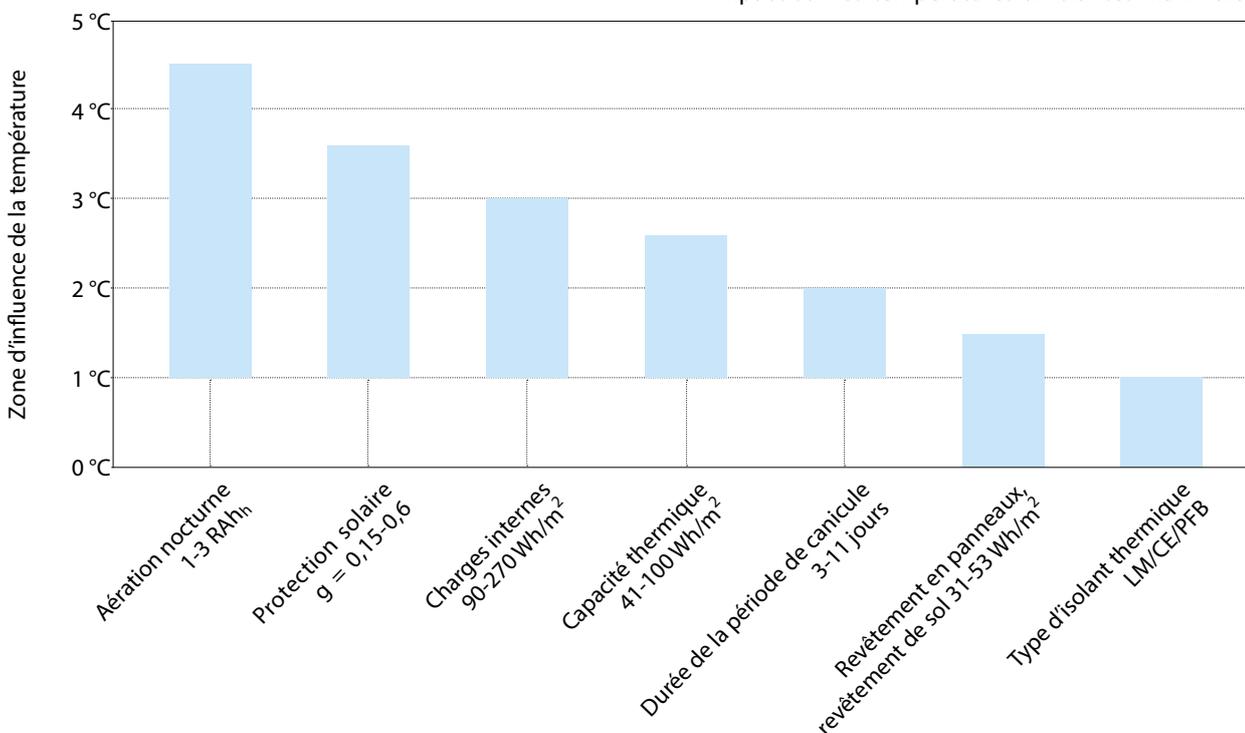


Fig. 12: montre clairement l'importance des différents facteurs d'influence. L'influence du type d'isolant thermique, de 0 à 1 °C max est insignifiante.

LM = laine minérale

CE = cellulose

PFB = panneaux de fibre de bois

TRA = taux de renouvellement de l'air

g = valeur g, vérifier la désignation exacte



## EXAMEN APPROFONDI DU POTENTIEL D'INFLUENCE

## 7. Examen approfondi du potentiel d'influence

L'analyse de 15 autres calculs de simulation supplémentaires, résumés dans fig. 14, montre l'impact qu'exercent les variations du pourcentage de surface vitrée et des standards d'isolation sur les autres facteurs d'influence ainsi que l'interdépendance de ces facteurs entre eux.

La situation de départ est, une fois de plus, la pièce sous comble de l'étude Empa, et des hypothèses que l'on peut

qualifier de courantes ou de «moyennes» dans la pratique de construction normale ont été choisies pour les facteurs d'influence (fig. 14 colonne «moyenne»). Pour mettre en lumière l'influence de chaque facteur en fonction de tous les autres, les paramètres choisis ont été une fois «plus favorables» et une fois «moins favorables» (fig. 9). Pour tous les autres facteurs, la valeur de départ a été maintenue. Les températures ambiantes maximales ainsi calculées servent de base à l'évaluation du potentiel d'influence.

## Facteurs d'influence et hypothèses pour trois cas

Facteurs d'influence	Unité de mesure	Hypothèses de cas		
		plus favorable	moyen	moins favorable
<b>Dimensions des fenêtres</b> (% de la surface nette de plancher SNP)	%	10	20	30
<b>Ombrage</b> (degré de perméabilité énergétique totale g)		0,12	0,30	0,60
<b>Charges thermiques internes</b>	W/m <sup>2</sup>	5	10	15
<b>Renouvellement d'air nocturne n<sub>L</sub>, RA/h</b>	RA/h	3	1,5	Pas de RA
<b>Standard d'isolation des éléments de construction</b> (coefficient de transmission thermique U)	W/(m <sup>2</sup> K)	0,10	0,20	0,30
<b>Capacité thermique</b>	Wh/(m <sup>2</sup> K)	65	52	31
<b>Type d'isolant thermique</b>		Fibre de bois	Chanvre	Laine minérale

Fig. 13: facteurs d'influence et hypothèses: décrits de façon plus détaillée dans l'annexe, fig. 14.

## Hypothèses pour les 15 simulations et les températures ambiantes maximales calculées pendant la canicule

Facteur d'influence	Hypothèses de cas	Dimensions des fenêtres	Ombrage	Charges internes	Renouvellement d'air nocturne	Standard d'isolation	Capacité thermique	Type d'isolant thermique	Température ambiante maximale
									°C
		% par SNP	g	W/(m <sup>2</sup> K)	RA/h	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)		
<b>Ombrage</b>	plus favorable	20	0,12	10	1,5	0,20	52	Chanvre	<b>29,5</b>
	moins favorable		0,60						<b>35,0</b>
<b>Capacité thermique</b>	plus favorable	20	0,30	10	1,5	0,20	65	Chanvre	<b>28,6</b>
	moins favorable						31		<b>32,3</b>
<b>Renouvellement d'air nocturne RA [1/h]</b>	plus favorable	20	0,30	10	3	0,20	52	Chanvre	<b>30,3</b>
	moins favorable			10	Pas de RA				<b>33,7</b>
<b>Charges internes</b>	plus favorable	20	0,30	5	1,5	0,20	52	Chanvre	<b>30,0</b>
	moins favorable			15					<b>32,8</b>
<b>Dimensions des fenêtres</b>	plus favorable	10	0,30	10	1,5	0,20	52	Chanvre	<b>30,0</b>
	moins favorable	30							<b>32,5</b>
<b>Standard d'isolation coefficient U</b>	plus favorable	20	0,30	10	1,5	0,10	52	Chanvre	<b>31,0</b>
	moins favorable					0,30			<b>32,0</b>
<b>Type d'isolant thermique</b>	plus favorable	20	0,30	10	1,5	0,19-0,21	52	Fibre de bois	<b>31,2</b>
	moins favorable							Laine minérale	<b>31,4</b>

Fig. 14: la température ambiante maximale basée sur les valeurs moyennes est de 31,3 °C (première ligne). Les autres températures ambiantes maximales indiquées montrent l'impact de la variation des facteurs d'influence lorsque les autres conditions restent stables.



## EXAMEN APPROFONDI DU POTENTIEL D'INFLUENCE

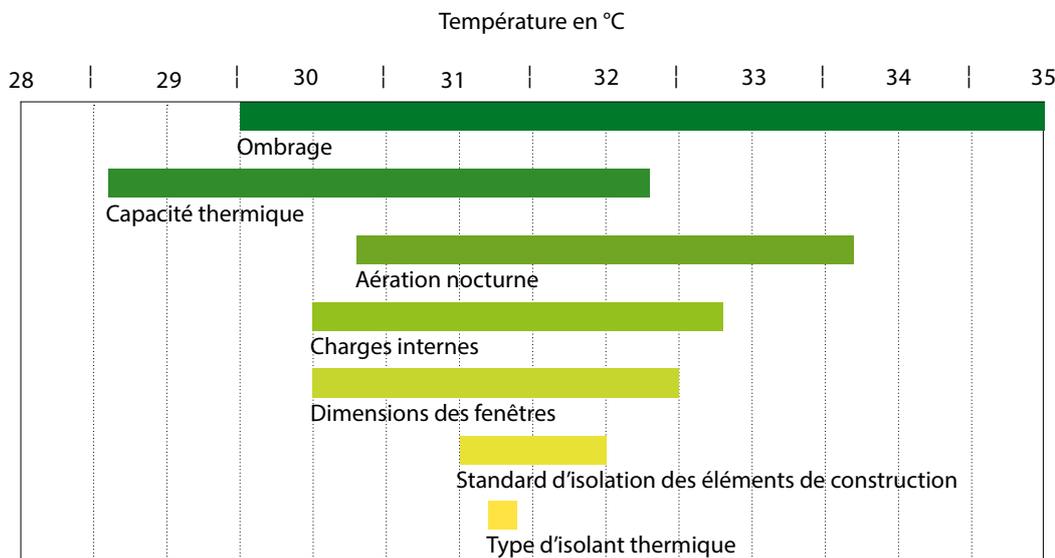


Fig. 14a: les différents facteurs et leur potentiel d'influence.

**Potentiel d'influence des différents facteurs**

Celui-ci résulte des températures ambiantes maximales calculées pendant la période de canicule des 15 simulations. Celles-ci se situent dans cette plage élevée parce qu'une période de canicule avec des températures maximales pouvant atteindre 35 °C a été supposée pour le climat extérieur. Faisant apparaître de manière particulièrement claire l'importance des différents facteurs d'influence, cette situation extrême permet une évaluation précise.

Les schémas ci-contre illustrent et confirment l'importance de l'ombfrage, de la capacité thermique, de l'aération nocturne, des charges thermiques internes et des dimensions des fenêtres dans le cadre de la protection thermique estivale. De plus, un coup d'œil suffit pour comprendre où doivent porter les efforts. L'influence du type d'isolant est insignifiante (pour cela, voir également fig. 10a + b à la page 8).

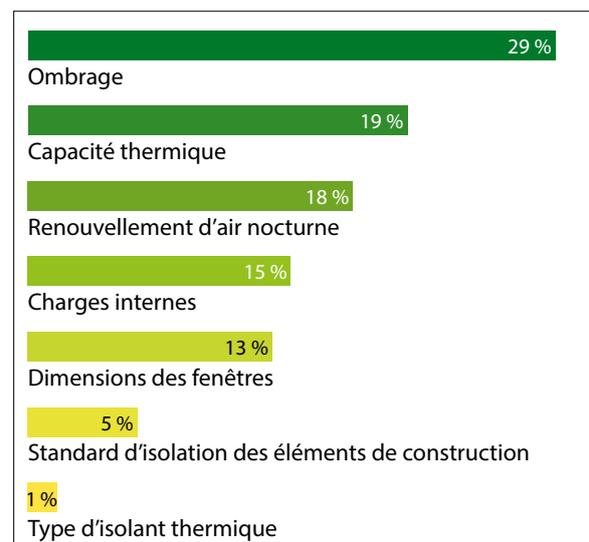
**Plage des températures ambiantes maximales/  
potentiels d'influence des différents facteurs**

Fig. 14b: potentiel d'influence des différents facteurs en pourcentage.

## CONSTRUIRE DE MANIÈRE RESPONSABLE: CONCLUSIONS

### Construire de manière responsable: vivre dans le bien-être

Des mesures constructives et un comportement d'utilisation adapté permettent d'obtenir un climat intérieur agréable tant en hiver qu'en été.

### Quel rôle jouent dans cet équilibre les différents facteurs d'influence?

#### Conclusions

Conjuguée à l'examen approfondi du potentiel d'influence, l'étude Empa «Protection thermique estivale des pièces sous les combles – Analyse des facteurs d'influence sur le climat intérieur» a produit des résultats intéressants. Les principes de construction qui en découlent permettent une évaluation des risques rapide et simple. Voici en résumé les constatations principales:

#### Climat

En raison du réchauffement climatique tendanciel et de l'augmentation probable des périodes de canicule de plusieurs jours, la protection thermique estivale revêtira à l'avenir une importance croissante.

### Confort thermique

Le bien-être thermique dépend principalement des facteurs suivants: température de l'air ambiant, température superficielle moyenne des surfaces environnantes, vitesse de l'air, humidité mais aussi de l'être humain lui-même, de son activité, de son habillement et de son état physiologique.

#### Planification

En raison de la qualité de l'isolation thermique des bâtiments actuels et de leur bonne étanchéité à l'air, les dispositions à prendre consistent, d'une part, à réduire au minimum les charges thermiques dans les pièces et, d'autre part, à évacuer celles-ci de manière ciblée par une gestion ciblée de l'aération nocturne. Une évaluation des risques permet de prévenir les surprises, les étapes de planification «évaluer les charges, déterminer la capacité thermique de la pièce et fixer des mesures d'aération» permettent de réaliser cette évaluation simplement.



© Shutterstock



© Shutterstock



## CONSTRUIRE DE MANIÈRE RESPONSABLE: CONCLUSIONS

### Usagers du bâtiment

En plus des conditions de construction, le comportement des usagers joue un rôle important. Dans un système non automatisé, cela signifie: utilisation intelligente des dispositifs de protection solaire pendant la journée et aération ciblée, surtout la nuit. Ne pas oublier, lors du choix, l'influence des appareils et des éclairages ainsi que des surfaces des éléments de construction, p. ex. des revêtements de sol, faux plafonds et revêtements d'insonorisation.

### Protection solaire et aération

Le programme de simulation dynamique des bâtiments HELIOS permet de modifier et de mesurer tous les principaux paramètres d'influence. L'on peut constater que, lorsque la proportion des fenêtres est modérée, les facteurs Protection solaire et Aération nocturne sont ceux qui présente l'influence la plus importante. Credo: «En été, réduire au minimum les charges thermiques dans les pièces et évacuer celles-ci de manière ciblée par des mesures d'aération nocturne.»

### Climat intérieur agréable au moyen du freecooling

Les pompes à chaleur à saumure/eau, lorsque les bâtiments en sont équipés, sont un moyen très efficace pour obtenir ce résultat. Dans ce cas, l'installation géothermique est utilisée comme source de froid. Le fluide plus froid arrivant dans le circuit de chauffage depuis le sol absorbe la chaleur de la pièce et la réinjecte dans le sol par l'intermédiaire d'un échangeur thermique puis d'une sonde géothermique. Pour cela, une simple pompe de recirculation suffit, la pompe à chaleur n'est pas sol-

licitée. L'impact du freecooling sur la consommation d'énergie électrique est à peine perceptible.

Si le bâtiment est équipé d'une installation photovoltaïque pour la production de courant, la quantité d'énergie électrique à disposition est telle, notamment par temps ensoleillé, que la faible consommation de la pompe à recirculation est négligeable.

### Solutions automatisées (Smart Home)

Aujourd'hui, il est techniquement possible de gérer les deux facteurs d'influence principaux à l'aide de solutions Smart Home intelligentes. Des capteurs mesurent la température intérieure et déclenchent, si nécessaire, l'abaissement des dispositifs d'ombrage extérieurs. La nuit, les fenêtres sont ouvertes automatiquement dès que la température extérieure passe en dessous de la température intérieure. Le climat intérieur est ainsi géré de manière automatique, de sorte qu'il se réchauffe le moins possible. Pour les projets de constructions neuves, il est recommandé de prévoir ces mesures dès la planification. Pour les bâtiments existants, il existe des solutions qui peuvent être intégrées à posteriori.

En hiver, il est déconseillé d'utiliser les dispositifs d'ombrage extérieurs comme protection contre l'éblouissement. Il est plus pertinent d'utiliser un dispositif de protection contre l'éblouissement se trouvant à l'intérieur. Cela permet d'exploiter davantage l'énergie solaire passive et de réduire encore la consommation d'énergie. Ces dispositifs aussi peuvent être gérés et réglés de manière intelligente. Smart, tout simplement.



## CONSTRUIRE DE MANIÈRE RESPONSABLE: CONCLUSIONS

### Protéger de manière optimale les étages sous les combles contre la chaleur estivale

Les solutions de protection thermique varient en fonction de l'utilisation des pièces. Les appartements sous les combles ont souvent la réputation de devenir particulièrement chauds en été. Toutefois, lorsque les toitures disposent d'une isolation moderne, il n'y a pas lieu de s'inquiéter si les fenêtres de toitures sont équipées d'une protection thermique adaptée. Si l'on considère les avantages des différentes solutions, ceux-ci, en plus de contribuer à la protection thermique estivale effective, peuvent également contribuer à l'obscurcissement complet, tenir lieu d'isolation phonique supplémentaire et améliorer la qualité de vie.

Avec les volets roulants ou les marquises pour la protection thermique, il existe des variantes pour différentes exigences. Avant d'opter pour une solution, cela vaut la peine de réfléchir exactement à l'objectif visé: souhaite-t-on, par exemple, que la solution de protection thermique serve également de dispositif obscurcissant ou de protection phonique?

### Les jalousies: améliorer le confort de sommeil

Les volets roulants constituent non seulement une protection très efficace contre la chaleur, ils permettent aussi d'obscurcir totalement la pièce en plein jour et de protéger contre le bruit. Ces propriétés en font une solution idéale pour les chambres à coucher. À commande électrique ou solaire, les volets roulants apportent en outre un gain de confort significatif, puisque la protection contre la chaleur et l'obscurité sont à portée de doigt. Les habitants peuvent définir par télécommande ou via une application sur le smartphone l'heure à laquelle le volet roulant s'ouvre. Ils peuvent donc se laisser réveiller par les premiers rayons de soleil et soutenir ainsi leur rythme de sommeil naturel. Mais ce n'est pas qu'en été que les habitants des logements sous combles profitent de cette solution polyvalente: lorsque les températures extérieures sont froides, les volets roulants aident à économiser de l'énergie car elles améliorent l'isolation thermique des fenêtres de toit.



### Marquises pour la protection thermique avec dispositif d'obscurcissement

Outre les volets roulants, une marquise avec tissu obscurcissant constitue une alternative intéressante, notamment pour les mois d'été chauds et lumineux. Le tissu opaque, résistant aux intempéries, est discrètement tendu devant la vitre et éloigne les rayons de soleil chargés d'énergie. Avec la protection thermique et l'obscurcissement des pièces, la marquise pour la protection thermique répond aux deux exigences principales.



## CONSTRUIRE DE MANIÈRE RESPONSABLE: CONCLUSIONS

Mesures	Facteur d'influence	Pertinence	Potentiel d'influence		Principes de planification et d'exploitation
			Planificateur	Habitant/ utilisateur	
<b>Minimisation de l'apport thermique solaire</b>	Pourcentage de vitrage	✓	✓		Maintenir bas le pourcentage de vitrage, choisir un pourcentage adapté à l'utilisation de la pièce.
	Orientation des fenêtres	✓	✓		Les surface vitrée horizontales, exposées sud, est et ouest (dans cet ordre) ont une influence critique sur la température en été.
	Protection solaire	✓	✓	✓	Dispositif d'ombrage extérieur, valeurs g faibles (taux de transmission d'énergie globale) pour le vitrage/la protection solaire. Utilisation correcte de l'installation de protection solaire.
	Standard d'isolation des éléments de construction	✓	✓		Plus le coefficient de transmission thermique $U$ et $U_{24}$ , mieux c'est.
<b>Maximisation de la capacité thermique</b>	Éléments de construction	✓	✓		Des éléments de construction massifs à l'intérieur des pièces et des chapes en ciment influencent la capacité thermique de la pièce de manière positive.
	Surfaces des éléments de construction	✓	✓		Les panneaux de revêtement ayant une capacité thermique élevée tels que les plaques de plâtre ont une influence positive.
	Aménagements/ revêtements	✓	✓	✓	Les faux plafonds, tapis, mesures d'isolation phonique réduisent la capacité thermique.
<b>Maximisation du rafraîchissement nocturne</b>	Type d'aération	✓	✓	✓	La ventilation transversale par les ouvertures de toits et de fenêtres est la solution la plus efficace.
	Géométrie des fenêtres	✓	✓		Pour une surface vitrée identique, les battants hauts sont plus efficaces que les battants larges.
<b>Minimisation des charges thermiques internes</b>	Nombre de personnes	✓	✓		Plus le nombre de personne dans la pièce est faible, plus les charges internes sont faibles et favorables.
	Appareils techniques	✓	✓	✓	Les appareils et un éclairage efficaces permettent de maintenir les charges thermiques internes à un niveau plus bas.

Légende: ✓ moyen    ✓ élevé    ✓ très élevé



ANNEXE

6 Annexe

Exigences concernant la valeur  $g$  des fenêtres

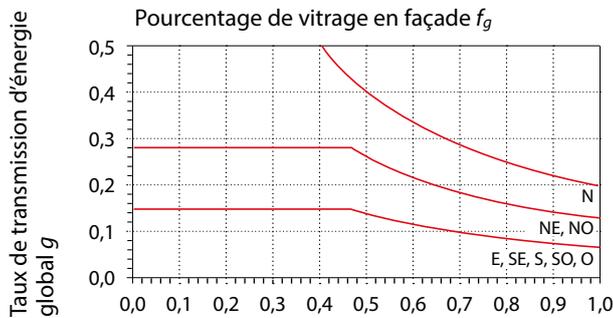


Fig. 16: exigences selon SIA 382/1 pour la valeur  $g$  des fenêtres en façade (vitrage et protection solaire) en fonction du pourcentage de vitrage et de l'orientation.

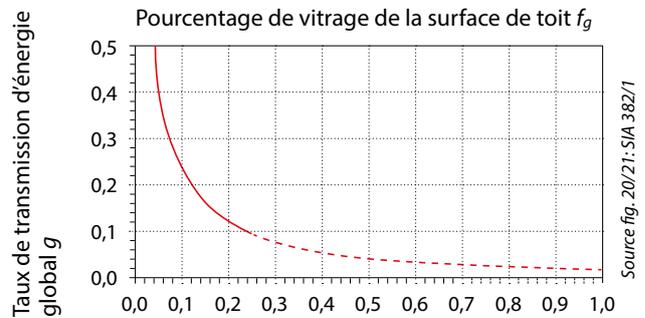


Fig. 17: exigences selon SIA 382/1 pour la valeur  $g$  des verrières (vitrage et protection solaire) en fonction du pourcentage de vitrage.

Valeurs caractéristiques de vitrages avec protection solaire typiques

Vitrage	Protection solaire	Couleur	Taux de transmission solaire de la protection solaire $\tau_{e,B}$	Taux de transmission lumineuse $\tau_V$	Taux de transmission d'énergie global $g$
Double-vitrage normal	extérieur	pastel	0,1	0,09	0,13
Double-vitrage normal	intérieur	clair	0,1	0,09	0,37
Double-vitrage thermo-isolant	extérieur	pastel	0,1	0,08	0,09
Double-vitrage thermo-isolant	intérieur	clair	0,2	0,16	0,40
Triple-vitrage normal	extérieur	pastel	0,1	0,08	0,11
Triple-vitrage normal	intérieur	clair	0,1	0,09	0,37
Triple-vitrage thermo-isolant	extérieur	pastel	0,1	0,07	0,07
Triple-vitrage thermo-isolant	intérieur	pastel	0,2	0,15	0,40
Triple-vitrage thermo-isolant	intérieur	clair	0,2	0,15	0,36

Fig. 18: le vitrage et la protection solaire exercent une influence considérable sur les charges thermiques solaires.

Taux de renouvellement d'air en fonction du type d'aération par les fenêtres

**Fenêtre basculée, volets roulants**  
0,3-1,5 renouvellements d'air/heure



**Fenêtre complètement ouverte**  
9-15 renouvellements d'air/heure



**Fenêtre basculée, pas de volets roulants**  
0,8-4 renouvellements d'air/heure



**Deux fenêtres en vis-à-vis**  
env. 40 renouvellements d'air/heure



**Fenêtre à moitié ouverte**  
5-10 renouvellements d'air/heure



Fig. 19: variantes de l'aération par les fenêtres et leur efficacité, mesurées au nombre de renouvellements d'air par heure.



## ANNEXE

## Description des hypothèses posées pour l'examen approfondie (à partir de la page 12)

Hypothèses	Description
<b>Dimensions des fenêtres</b>	
Surface vitrée 10 % de la SNP	Fenêtre de toit 2 m <sup>2</sup>
Surface vitrée 20 % de la SNP	Fenêtre de toit 2 m <sup>2</sup> + porte vitrée 2 m <sup>2</sup> dans la paroi extérieure est
Surface vitrée 30 % de la SNP	Fenêtre de toit 2 m <sup>2</sup> + porte vitrée 4 m <sup>2</sup> dans la paroi extérieure est
<b>Ombrage</b>	
$g = 0,12$	Deux quadruples vitrages + stores à lamelles extérieurs
$g = 0,30$	Deux quadruples vitrages + marquise à l'extérieur
$g = 0,60$	Deux quadruples vitrages sans ombrage
<b>Charges thermiques internes</b>	
$q_i = 5 \text{ W/m}^2$	usage normal (1 personne, petite TV/radio, éclairage modéré)
$q_i = 10 \text{ W/m}^2$	usage moyen (1 personne, grande TV/radio, pupitre de travail, ordinateur portable, éclairage conventionnel)
$q_i = 15 \text{ W/m}^2$	usage intensif (2 personnes, grande TV/radio, poste de travail avec PC et écran, éclairage halogène)
<b>Aération nocturne</b>	
3 renouvellements d'air	$n_{L,N} = 3 \text{ RA/h}$
1,5 renouvellements d'air	$n_{L,N} = 1,5 \text{ RA/h}$
Pas de renouvellement d'air	$n_{L,N} = 0 \text{ RA/h}$
<b>Standard d'isolation des éléments de construction</b>	
Coefficient de transmission thermique $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Exigence minimale justificatif pour les éléments de construction selon SIA 380/1:2016 «L'énergie thermique dans le bâtiment»
Coefficient de transmission thermique $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Exigence minimale justificatif pour les éléments de construction selon SIA 380/1:2016 «L'énergie thermique dans le bâtiment»
Coefficient de transmission thermique $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Eixgences pour le label Minergie-P maison standard passive
<b>Capacité thermique</b>	
$C_{R/A_{SNP}} = 65 \text{ Wh/(m}^2\text{K)}$	Parois extérieures et intérieures en maçonnerie, paroi extérieure avec isolation extérieure; plafond et toit incliné à structure en bois, toit incliné en fibre de ciment 2 × 12,5 mm, sol en carrelage céramique
$C_{R/A_{SNP}} = 52 \text{ Wh/(m}^2\text{K)}$	Parois extérieures et intérieures, plafond et toit incliné à structure en bois; revêtement intérieur en panneaux en fibre de ciment 2 × 12,5 mm, sol en carrelage céramique
$C_{R/A_{SNP}} = 31 \text{ Wh/(m}^2\text{K)}$	Parois extérieures et intérieures, plafond et toit incliné à structure en bois; revêtement intérieur en panneaux en fibre de ciment 1 × 12,5 mm, toit incliné: lambris, sol: moquette
<b>Type d'isolant thermique dans les structures en bois</b>	
Fibre de bois	Conductivité thermique $\lambda_D = 0,043 \text{ W/(m K)}$ ; capacité thermique spécifique $c = 1400 \text{ J/(kgK)}$ ; masse volumique $\rho_a = 150 \text{ kg/m}^3$
Chanvre	Conductivité thermique $\lambda_D = 0,040 \text{ W/(m K)}$ ; capacité thermique spécifique $c = 1400 \text{ J/(kgK)}$ ; masse volumique $\rho_a = 40 \text{ kg/m}^3$
Laine minérale	Conductivité thermique $\lambda_D = 0,035 \text{ W/(m K)}$ ; capacité thermique spécifique $c = 1030 \text{ J/(kgK)}$ ; masse volumique $\rho_a = 20 \text{ kg/m}^3$

Fig. 20



## MENTIONS LÉGALES

### Mentions légales

#### **Chef de projet du groupe de travail**

Hanselmann Urs, Uzwil, Chef de projet technique,  
Enveloppe des édifices Suisse

#### **Groupe de travail Commission technique Solaire | Énergie**

Heim Manuel, Eschlikon TG  
Nussbaumer Reto, Pfäffikon SZ  
Bühler Urs, Hünenberg See ZG

#### **Graphiques**

Staub Nicole, Uzwil, Enveloppe des édifices Suisse

#### **Éditeur**

ENVELOPPE DES ÉDIFICES SUISSE

Association des entrepreneurs suisses d'enveloppe des édifices

Commission technique Solaire | Énergie

Lindenstrasse 4

9240 Uzwil

T 071 955 70 30

F 071 955 70 40

[info@enveloppe-edifice.swiss](mailto:info@enveloppe-edifice.swiss)

[enveloppe-edifice.swiss](http://enveloppe-edifice.swiss)

