

Minimiser les ponts thermiques

tout en assurant la sécurité parasismique

Dans les bâtiments modernes très bien isolés (p.ex. : construits selon le standard MINERGIE-P), les ponts thermiques peuvent représenter jusqu'à 40 % des pertes de chaleur. Ils peuvent aussi être à l'origine de dommages dus à la condensation de l'humidité de l'air : colorations du bois, moisissures, etc. C'est la raison pour laquelle, on s'efforcera de les éviter, ou du moins d'en minimiser les conséquences.

Pour les bâtiments de plus de deux étages, les contraintes statiques nécessaires pour répondre aux exigences actuelles en matière de sécurité parasismique induisent de nouveaux ponts thermiques. Les situations critiques se situent surtout en sous-sol, dans les zones de transition entre les espaces chauffés et non chauffés (escaliers, ascenseurs), aux raccords avec des garages souterrains, ou encore au voisinage des piliers ou des encorbellements. Certaines de ces situations sont illustrées dans le schéma ci-dessous (coupe verticale).

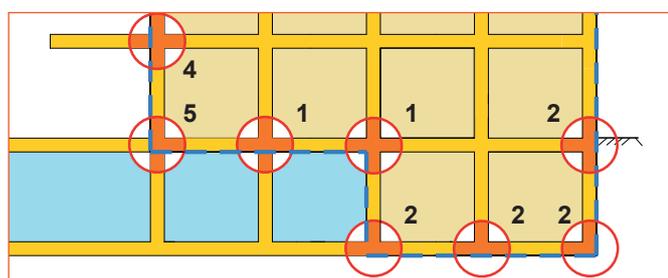


Fig. : Coupe d'un bâtiment montrant les ponts thermiques ou les points de conflit avec les contraintes de sécurité parasismique (les numéros correspondent aux situations-types décrites dans le tableau qui suit).

On trouve aujourd'hui, sur le marché, de nombreux éléments de construction spéciaux. De même, on peut mettre en œuvre d'innombrables procédés de construction efficaces pour éviter les ponts thermiques. Cette fiche technique a pour but de mettre en évidence, sur un bâtiment de 6 étages, les conflits d'intérêts et les solutions à disposition pour les résoudre. Elle s'adresse aux ingénieurs civils et énergéticiens. Elle veut sensibiliser les architectes, les autorités et les maîtres d'ouvrages à ces questions. (NdT : La forme grammaticale masculine est conçue comme une forme neutre qui inclut aussi les femmes.) La fiche se limite aux constructions massives, et se concentre sur les ponts thermiques qui sont en même temps des points délicats du point de vue de la sécurité parasismique.



Fig. : Armature d'un mur avec des raccords isolés en pied de mur sur une dalle en béton.

L'essentiel en bref :

Dans les bâtiments modernes très bien isolés, les ponts thermiques peuvent représenter de grandes pertes de chaleur. Le conflit est fréquent entre la tentative d'éliminer tous les ponts thermiques et la nécessité d'assurer la sécurité statique du bâtiment. Toutefois, ce conflit peut se résoudre par une planification soignée, ainsi que par le recours à des produits modernes offerts par l'industrie du bâtiment. La question de la réduction des ponts thermiques horizontaux doit être abordée

conjointement par l'ingénieur civil et le physicien du bâtiment. En règle générale, seul un très petit nombre d'éléments de construction sont tellement sollicités sur le plan statique qu'il est impossible de réduire les ponts thermiques qu'ils induisent. On trouvera ici de nombreuses réponses ainsi qu'un exemple qui explique les effets. Dans cet exemple, on a réussi à faire baisser de façon significative (plus de 30 %) les besoins de chaleur pour le chauffage en appliquant les solutions proposées.

	Corps en béton armé d'un seul tenant Les murs verticaux et les dalles sont imbriqués par un ferrailage et un bétonnage continus.	✓ ✓ ✓
	Console isolante La dalle en porte-à-faux est liée statiquement au bâtiment par un élément armé en acier inoxydable doté d'une isolation.	✓ ✓ ✓
	Élément d'armature isolant en acier inoxydable Un élément isolant en acier inoxydable établit la liaison statique entre les murs en béton armé supportant les sollicitations et les dalles horizontales (radier ou dalle d'étage). L'élément est intégré au système statique. Ce système est capable d'absorber des forces horizontales importantes, telles que celles résultant d'un tremblement de terre.	✓ ✓ ✓
	Raccord isolant entre dalle et murs en béton armé Le raccord isolant relie statiquement des murs en béton armé soumis à une charge, avec un radier ou une dalle d'étage. Il est basé sur le principe d'un élément articulé transmettant la pression.	✓ ✓ ✓
	Base ou tête de mur isolante Au pied ou au sommet d'un mur en béton, on intercale un élément spécial constitué de noyaux résistants à la compression pris dans une matrice en matériau isolant.	✓ ✗ ✗
	Béton peu conducteur de chaleur Système de mur spécial : mur sandwich en béton, à cœur isolant, pour murs extérieurs. La sécurité parasismique est assurée par un système de construction spécial situé dans l'espace intérieur.	✓ ✓ ✓
	Radier de fondation avec isolant posé sur le terrain Se pose en lieu et place d'une fondation linéaire (qui traverse l'isolation sous le radier). Permet de réaliser une isolation continue sous toute la surface du radier.	✓ ✓ ✓
	Isolation superficielle des parois On isole les faces de l'élément. L'isolant peut être pris dans le béton ou rapporté après coup (fixé à la paroi).	✓ ✓ ✓
	Maçonnerie en briques, avec ou sans socle On remplace entièrement ou partiellement le béton par un mur en maçonnerie. (En utilisant un socle isolant spécial, on peut améliorer la valeur Ψ).	✓ ✓ ✗
	Élément de construction séparé thermiquement L'élément de construction dispose d'une séparation qui coupe le pont thermique. Remarque : ces éléments ne supportent pas les charges. Il faut donc transférer ces charges à un autre endroit.	✓* ✓* ✓*

■ charges faibles
■ charges moyennes
■ charges élevées
 ✓ = judicieux Ψ = pas indiqué sur le plan énergétique ✗ = pas possible statiquement
 * Seulement s'il est possible de transférer les charges sur un autre élément.

Statique

Les valeurs Ψ des différentes mesures dépendent des exigences statiques spécifiques. Pour cette fiche technique, on distingue trois niveaux de charges s'exerçant sur le raccord mur-dalle : **faible, moyen, élevé**. Les valeurs Ψ sont fonction du niveau de charge. Dans un bâtiment donné, on peut rencontrer les trois niveaux de charge.

Niveau de charge	Compression (-kN/m)	Traction (+kN/m)	Poussée H (+kN/m)	Poussée V (+kN/m)
1-faible	<350	<30	<30	<30
2-moyen	350 - 750	30 - 100	30 - 100	30 - 100
3-élevé	>750	>100	>100	>100

(Pour les fondations et les radiers, les forces déterminantes sont les pressions par unité de surface et les poussées horizontales, tandis que pour les dalles en encorbellement, ce sont les moments de flexion. Il s'agit donc de clarifier les questions statiques dans chaque cas particulier.)

Tous les ponts thermiques expliqués dans la présente fiche ont été sélectionnés sur la base d'un immeuble-type représentatif des constructions réalisées en Suisse. Le périmètre isolé a été défini entre le sous-sol et le rez-de-chaussée, à l'exception de la zone de la cage d'escaliers et de la cage d'ascenseur appartenant au volume chauffé et descendant jusqu'au sous-sol. Ce bâtiment a été déjà optimisé sur le plan énergétique, y compris la maîtrise des ponts thermiques. Les calculs sont fondés sur un bâtiment théorique de référence bâti entièrement en béton armé, sans discontinuités. On ne tient pas compte ici des ponts thermiques sur lesquels aucune charge ne s'exerce, ou seulement une charge insignifiante (bords de toit, fenêtres, etc.). Le terme « dalle en encorbellement » recouvre plusieurs situations, telles que balcons, cages d'escaliers extérieures, avant-toits importants prolongeant les toitures des garages souterrains, etc. La plupart des ponts thermiques envisagés se situent soit en sous-sol, soit au raccord entre le sous-sol et le rez-de-chaussée. Les valeurs Ψ de référence sont celles du bâtiment théorique.

Tous les ponts thermiques sont calculés d'après les normes suisses, au moyen d'un logiciel approprié de type FEM (finite element method = méthode des éléments finis). La matérialisation des éléments de construction est conçue selon l'état de la technique, ce qui sous-entend aussi de respecter d'autres contraintes (protection contre l'incendie, étanchéité à l'eau, etc.).

Le présent exemple part de deux hypothèses et traite deux variantes : Hypothèse A : sous-sol à 10°C (comme pour une cave



Fig. : Représentation du bâtiment de référence

non chauffée). Hypothèse B : sous-sol à 0°C (comme pour un garage souterrain ventilé naturellement).
 Variante 1 : couche isolante par-dessus la dalle de rez-de-chaussée
 Variante 2 : couche isolante par-dessous la dalle de rez-de-chaussée

Dans cet exemple, la distribution de chaleur est assurée par un système de chauffage au sol – ce qui est souvent le cas en Suisse –, qui conduit à des valeurs Ψ plus élevées pour la plupart des ponts thermiques. La température de départ a été fixée à 30°C.

Le tableau des deux pages suivantes présente les ponts thermiques identifiés sur le bâtiment de référence, ainsi que les valeurs Ψ résultant des mesures prises.

La figure ci-dessous montre où sont les ponts thermiques au rez-de-chaussée et au sous-sol, et quels sont les niveaux de charge.

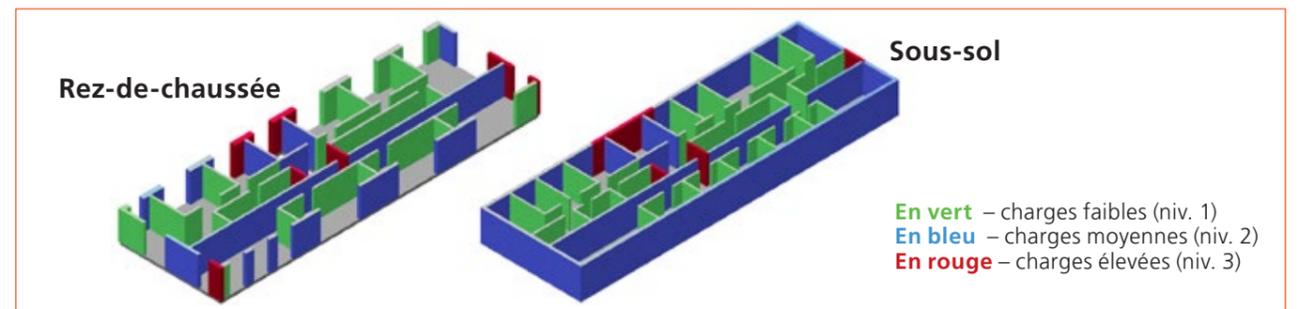


Fig. : Perspectives du sous-sol et du rez-de-chaussée du bâtiment de référence, avec indication des niveaux de charge

N°	Esquisse	Conditions cadres	Béton armé continu (W/mK)	Longueur du pont thermique (m)	Longueur du pont thermique par niveau de charge (m)	Niveau de charge	Console pour dalle en porte-à-faux (1)	Élément d'armature INOX (2)	Raccord isolant entre dalle et murs en béton armé (3)	Mur en béton avec socle isolant (4)	Béton peu conducteur de chaleur (5)	Plaque de fondation avec isolant pour pose en souterrain (6)	Isolation superficielle des parois 2/60 cm	Isolation superficielle des parois 4 cm	Maçonnerie en briques à 40%, avec ou sans socle	Maçonnerie en briques à 60%, avec ou sans socle	Maçonnerie en briques à 100%, avec ou sans socle	Élément de construction sandwich, à 40%	Élément de construction sandwich, à 60%	Élément de construction sandwich, à 100%
1 Innenwand an Boden/Decke																				
1.1		- Coupe - T _{nc} = 10 °C - Avec ChS	0.69	120	84	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.12	0.32	na	na	0.50	0.42	0.53	0.46	0.30	0.41	0.28	0.00
					30	NivC2		0.25 - 0.40	0.24	X			0.50	0.42	0.53	X	X			
					6	NivC3		0.40 - 0.55	0.38	X			X	0.42	X	X				
1.2		- Coupe - T _{nc} = 0 °C - Avec ChS	1.00	120	84	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.14	0.39	na	na	0.46	0.38	0.69	0.53	0.22	na	na	na
					30	NivC2		0.25 - 0.40	0.28	X			0.46	0.38	0.69	X	X			
					6	NivC3		0.40 - 0.55	0.49	X			X	0.38	X	X				
1.3		- Coupe - T _{nc} = 0 °C - Avec ChS	0.53	12	0	NivC1	0.10 - 0.40	na	na	0.47	na	na	0.38	0.22	0.50	0.48	0.45	0.32	0.21	0.00
					12	NivC2				X			0.38	0.22	0.50	X	X			
					0	NivC3				X			X	0.22	X	X	X			
1.4		- Coupe - T _{nc} = 0 °C - T _t = 5 °C - Avec ChS	1.07	12	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.06	0.61	na	0.56	0.79	0.66	0.98	0.94	0.85	na	na	na
					12	NivC2		0.25 - 0.40	0.12	X			0.79	0.66	0.98	X	X			
					0	NivC3		0.40 - 0.60	0.21	X			X	0.66	X	X				
1.5		- Coupe - T _{nc} = 0 °C - T _t = 5 °C - Avec ChS	0.83	12	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.09	0.31	na	na	0.58	0.15	0.62	0.51	0.30	na	na	na
					12	NivC2		0.25 - 0.40	0.18	X			0.58	0.15	0.62	X	X			
					0	NivC3		0.40 - 0.55	0.40	X			X	0.15	X	X				
2 Boden/Decke an Aussenwand																				
2.1		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _{nc} = 10 °C - T _G = -5 °C - Avec ChS	1.02	46	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.13	0.68	na	na	0.58	0.42	0.90	0.85	0.73	na	na	na
					43	NivC2		0.25 - 0.40	0.26	X			0.58	0.42	0.90	X	X			
					3	NivC3		0.40 - 0.55	0.44	X			X	0.42	X	X				
2.2		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _{nc} = 10 °C - T _t = -5 °C - Avec ChS	0.72	46	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.08	0.30	na	na	0.64	0.62	0.48	0.37	0.13	na	na	na
					43	NivC2		0.25 - 0.40	0.16	X			0.64	0.62	0.48	X	X			
					3	NivC3		0.40 - 0.55	0.39	X			X	0.62	X	X				
2.3		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _t = -5 °C - Avec ChS	0.94	4	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.11	0.60	na	-0.05	0.67	0.61	0.82	0.76	0.64	0.56	0.38	0.00
					0	NivC2		0.25 - 0.40	0.22	X			0.67	0.61	0.82	X	X			
					4	NivC3		0.40 - 0.55	0.40	X			X	0.61	X	X				
2.4		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _t = -5 °C - Avec ChS	0.74	4	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.07	0.28	0.03	na	0.31	0.16	0.48	0.36	0.10	na	na	na
					0	NivC2		0.25 - 0.40	0.14	X			0.31	0.16	0.48	X	X			
					4	NivC3		0.40 - 0.55	0.37	X			X	0.16	X	X				
3 Wand an Wand																				
3.1		- Plan - T _{nc} = 0 °C	0.79	12	6	NivC1	0.10 - 0.40	na	na	na	0.62	na	0.53	0.47	0.63	0.54	0.38	0.47	0.32	0.00
					6	NivC2							0.62	0.47	0.63	X	X			
					0	NivC3							0.62	X	0.47	X	X			
4 Auskragend über Boden																				
4.1		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - Avec ChS	1.10	90	30	NivC1	0.10 - 0.40	na	na	0.86	0.79	na	0.74	0.61	1.03	0.99	0.92	0.66	0.44	0.00
					30	NivC2				X			0.74	0.61	1.03	X	X			
					30	NivC3				X			X	0.61	X	X				
5 Auskragend im Bodenbereich (Tiefgarage)																				
5.1		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _{nc} = 10 °C - T _{nc} = 0 °C - Avec ChS	0.70	30	0	NivC1	na	0.10 - 0.25	0.08	0.28	na	na	0.28	0.14	0.47	0.35	0.12	na	na	na
					30	NivC2		0.25 - 0.40	0.16	X			0.28	0.14	0.47	X	X			
					0	NivC3		0.40 - 0.60	0.35	X			X	0.14	X	X				
5.2		- Coupe - T _{ext} = -10 °C - T _{nc} = 10 °C - T _{nc} = 0 °C - Avec ChS	1.17	30	0	NivC1	0.6 - 0.9	0.80 - 0.90	0.94	1.03	na	na	0.99	0.97	0.88	0.74	0.45	0.70	0.47	0.00
					30	NivC2		0.90 - 1.00	0.99	X			0.99	0.97	0.88	X	X			
					0	NivC3		1.00 - 1.10	1.04	X			X	0.97	X	X				

 Les niveaux de charge 1 à 3 ne s'appliquent pas.
 Il est important d'examiner le cas en détail avec le fabricant.
 Nécessite éventuellement un renforcement de l'armature.
 X Impossible à réaliser pour des raisons de statique.
 na non applicable.

Commentaires et compléments relatifs au tableau

- Le terme « non applicable » signifie que la mesure ne peut pas être mise en œuvre pour la sorte de pont thermique considérée.
- L'expression « Impossible à réaliser pour des raisons de statique » concerne des mesures impossibles à utiliser car elles ne supportent pas les charges en jeu.
- L'utilisation d'éléments-sandwich doit être vérifiée en détail par un spécialiste de statique, de manière à reporter les charges sur d'autres éléments.
- La situation figurée sous 5.2 représente en fait l'addition de deux ponts thermiques : l'un, au pied du mur extérieur, le second, au raccord entre la dalle et le mur vertical. Pour certaines mesures, il n'est possible d'améliorer qu'une des modalités constructives. Il vaut mieux éviter ces situations. Le cas échéant, il est judicieux de combiner plusieurs mesures.
- Pour les mesures intitulées « Isolation superficielle des parois », « Maçonnerie en briques, avec ou sans socle » et « Élément de construction sandwich », le tableau prévoit la subdivision suivante en fonction de certains choix techniques:
 - Isolation superficielle des parois :** soit isolation de 2 cm noyée dans le béton sur une longueur de 60 cm, soit isolation de 4 cm appliquée contre le mur fini.
 - Maçonnerie en briques, avec ou sans socle :** trois proportions de maçonnerie par rapport aux parties en béton (40, 60 ou 100 % de maçonnerie). La valeur Ψ est alors une moyenne pondérée en fonction de ces proportions.
 - Éléments de construction sandwich :** trois proportions de murs en éléments-sandwich par rapport aux parties en béton (40, 60 ou 100 %).

Applications concrètes

Il est possible de combiner plusieurs mesures ; ceci est vrai pour différents types de ponts thermiques. Par exemple, pour les murs intérieurs, on peut utiliser un appareil en maçonnerie lorsqu'il s'agit du niveau de charge 1 ;



Fig. : Exemple d'éléments spéciaux (raccord isolant radier - murs)

et pour les niveaux 2 et 3, on peut utiliser des éléments-sandwich combinés avec des pièces de raccordement spéciales (cf. illustrations ci-dessous).



Fig. : Élément d'armature combiné avec un élément isolant (ici en verre cellulaire)

Cet exemple traite de la situation suivante:

Chauffage au sol, isolation par-dessus la dalle du rez-de-chaussée et par-dessous le radier dans la cage d'escaliers, température du sous-sol non chauffé $T_{nc} = 0^\circ\text{C}$.

Ont été prises en compte les valeurs Ψ indiquées dans le tableau. Pour le bâtiment de référence, en appliquant les valeurs Ψ correspondantes, on obtient un besoin de chaleur pour le chauffage calculé selon la norme SIA 380/1 : $Q_h = 104 \text{ MJ/m}^2$, ce qui n'est pas admissible pour un bâtiment efficace sur le plan énergétique. Par exemple, pour remplir les exigen-

de $Q_{h,i}$, les besoins de chaleur pour le chauffage ne devraient pas excéder 72 MJ/m^2 . Il est évident que, dans le cas présent, la solution 0 (tout béton) ne suffit pas. Pour résoudre le problème, on a étudié différentes variantes (cf. tableau ci-dessous). Seuls les éléments-sandwich n'ont pas été pris en considération, car cette solution nécessite une nouvelle répartition des charges (valeurs Ψ non calculées). Pour la solution minimale (2), on a choisi les moins bonnes valeurs Ψ pour tous les ponts thermiques.

Tableau : Réduction des besoins de chaleur (Q_h)

N°	Mesures	Q_h (MJ/m ²)	Diminution de Q_h
1	Solution 0 (murs, radiers et dalles tout béton)	104	-
2	Solution minimale offrant les valeurs Ψ les moins bonnes	89	14 %
3	Solution offrant 60 % de $Q_{h,i}$ (valeur-limite MINERGIE-P)	72	31 %
4	Tous ponts thermiques résolus avec la meilleure valeur Ψ possible	56	46 %

Les mesures citées dans le tableau ci-dessus illustrent comment réduire les besoins en chaleur en appliquant les mesures proposées, sans s'intéresser à d'autres critères, comme la protection contre l'humidité. Elles permettent de se rendre compte des multiples manières de réduire les besoins de chaleur pour le chauffage d'un bâtiment. Ainsi, les maîtres d'ouvrage ou leurs architectes peuvent combiner à leur guise différentes solutions, ce qui leur offre une liberté et une flexibilité de conception intéressantes. A ce propos, on rappellera que, pour que ces mesures soient effectivement mises en œuvre et réalisées correctement sur le chantier, il est nécessaire de surveiller attentivement leur mise en place.

Remarques importantes

Cette fiche ne traite les ponts thermiques que sous l'angle de la contradiction apparente entre pertes de chaleur et exigences statiques (valeurs Ψ). Mais la question des ponts thermiques appelle à des réflexions dans d'autres domaines, dont principalement celui de la protection contre l'humidité. Les exigences posées par la norme SIA 180 « Protection thermique, humidité et climat intérieur dans les bâtiments » doivent être respectées dans tous les cas. Il faut aussi tenir compte, dans chaque cas particulier, d'autres critères, tels que la protection contre le bruit, l'étanchéité à l'air et/ou à l'eau, la protection contre l'incendie et l'énergie grise.

Résumé

Les concepteurs disposent aujourd'hui d'une large palette de solutions pour réaliser de différentes manières des bâtiments efficaces sur le plan énergétique. La règle d'or peut s'énoncer ainsi : ne choisir la solution « tout béton » que si c'est absolument nécessaire pour des raisons de statique du bâtiment ou d'étanchéité à l'eau. Les technologies actuelles permettent de résoudre de très nombreux problèmes.

Les deux questions essentielles sont, d'une part, d'instaurer une communication et une coopération entre les différents intervenants à un stade précoce de planification, et d'autre part, de vérifier que l'exécution soit réalisée dans les règles de l'art.

Rapport détaillé

Sur le site Internet de SuisseEnergie, on trouve un rapport détaillé avec les calculs de différents ponts thermiques, calculs qui ont été utilisés pour la présente fiche technique. Ce rapport est téléchargeable gratuitement. On trouve également ce rapport (en allemand) sur le site suivant : www.sustech.ch > Downloads.

Références bibliographiques (en allemand)

- Groupe de travail « Kostengünstige Passivhäuser » (maisons passives bon marché) (2007). Wärmebrücken und Tragwerksplanung - die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens (ponts thermiques et planification de la structure porteuse – les limites de l'art de construire sans ponts de froid). Darmstadt (D) : Dr. Wolfgang Feist ; Passivhaus Institut.
- Infomind GmbH. (2002). Catalogue des ponts thermiques. Ittigen : Office fédéral de l'énergie OFEN.
- Notter, G., Menti, U.-P., & Ragonesi, M. (2008). Catalogue de ponts thermiques pour les bâtiments MINERGIE-P Ittigen : Office fédéral de l'énergie OFEN.

Cette fiche a été conçue sur mandat de SuisseEnergie et de l'Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zurich. Elle a été élaborée avec la participation de partenaires industriels.

Partenaires industriels

Debrunner Acifer SA
Misapor SA
Spaeter Zug SA (ebea)
Stahlton Bauteile SA

Auteurs

Werner Hässig et Sara Wyss, hässig sustech Sàrl
Markus Buchmann et Alen Sandmann, Buchmann Partner SA

Debrunner Acifer

klöckner & co multi metal distribution

MISAPOR
SCHAUMGLASSCHOTTER

ebea
Kompetenz für Technik am Bau

stahlton

Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK)

Maison des cantons
Speichergasse 6, CP
CH-3000 Berne 7
Tél. : 031 320 30 08
info@endk.ch, www.endk.ch

Direction des travaux publics du canton de Zurich

Office AWEL, section de l'énergie
Stampfenbachstrasse 12, CP
8090 Zurich
Tél. : 043 259 42 66, Fax: 043 259 51 59,
energie@bd.zh.ch, www.energie.zh.ch

SuisseEnergie

Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Adresse postale : CH-3003 Berne
Tél. : 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00
energieschweiz@bfe.admin.ch
www.suisseenergie.ch