

Spécifications techniques

Façades en béton préfabriqué

Introduction

La construction de façades pré-fabriquées en béton a connu une évolution au cours des dernières années. Grâce à la fabrication industrielle, de multiples possibilités se sont ouvertes.

Le béton est un matériau offrant des possibilités presque illimitées. Il est extrêmement varié et défie la volonté créatrice de chaque architecte.

Le béton est composé essentiellement de matériaux naturels, comme le gravier, le sable et le ciment.

La façade moderne en éléments de béton préfabriqués peut être conçue et réalisée de différentes manières : en plusieurs couleurs, en relief, en teintes chaudes, etc. La façade préfabriquée en béton bien structurée ne pose aucun problème d'ordre physique.

La présente documentation montre les possibilités qu'Elément SA offre aux architectes et aux maîtres d'ouvrage.

**Forme et conception**

Aucuns autres matériaux que le béton ne permet une liberté pratiquement absolue au point de vue de la création cubique plastique. L'esquisse n'a pas encore besoin de faire l'objet d'une étude technique. De nouvelles formes de façades riches d'imagination peuvent ainsi être conçues.

Une fois la conception de principe définie, c'est le moment idéal de contacter Elément SA. Grâce à leur expérience professionnelle et à la force créatrice commune, l'architecte et Elément SA se chargeront de mettre pleinement à profit les multiples possibilités offertes par la construction moderne du coffrage.

La production industrielle permet de nouvelles formes d'éléments. L'emplacement du coffrage n'est défini ni par le déroulement du chantier, ni par l'emplacement définitif de l'élément dans l'ouvrage. Les éléments de façade sont coffrés horizontalement en usine.

En tant qu'éléments cellulaires, ils peuvent également être produits en plusieurs étapes. Des formes élégantes, liées à tous les avantages de la construction en dur, sont ainsi réalisables. L'élément en béton structure les façades de l'ouvrage, les joints font partie de la création architecturale. Comme dans les ouvrages à surfaces apparentes et les façades naturelles, l'architecte crée aussi la répartition visuelle. Il assure ainsi les proportions correctes – l'architecte peut ensuite laisser au fabricant d'éléments le soin de la répartition définitive.

Les éléments de façade peuvent être disposés horizontalement ou verticalement et répartis en piliers, parapets ou linteaux ou exécutés en éléments d'un à plusieurs étages. Les balcons et les corniches de toiture s'intègrent totalement.

Le visiteur intéressé peut constater lui-même à l'usine que la production des façades préfabriquées est passionnante. Car maintenant comme toujours, en plus des méthodes industrielles de production, il reste toujours un certain travail manuel très précis à exécuter. Au moyen d'agrégats naturels comme le sable et le gravier, le béton peut s'enrichir d'une large palette de nuances individuelles. Suivant le dosage et le matériau, une couleur blanche à gris foncé, ou encore rouge à jaune et vert peut s'obtenir. Toutes les couleurs qui existent dans les pierres naturelles peuvent ainsi être utilisées pour les façades préfabriquées.

Pour des conceptions de couleurs très contrastées, la gamme peut encore être étendue, grâce à l'offre riche de pigments comme les oxydes de fer et de titane, etc.

Une surface avec effet structuré peut être réalisée au moyen de plusieurs méthodes. Des surfaces planes, arrondies, étagées, renfoncées et autres sont données par la forme du coffrage ou au moyen de matrices. Toute surface peut recevoir un traitement ultérieur, à savoir surface bouchardée, sablée, lavée ou encore d'autres structures.

Une surface talochée, balayée ou lissée, etc. qui est obtenue en traitant l'élément fraîchement bétonné, donne aussi des structures intéressantes. Ces trois méthodes principales peuvent encore faire l'objet de traitements complémentaires : Si l'on « boucharde » du gravier projeté, sa teinte sera déterminante. Le gravier de parement pour le « béton lavé » permet d'autres variations de teinte dans les diverses profondeurs de lavage.

Les particularités physiques

Les façades préfabriquées en béton présentent une bonne isolation thermique – combiné à une bonne isolation thermique, une construction idéale pour les bâtiments à faible consommation d'énergie. Les bâtiments à façades préfabriquées correctement dimensionnés sont véritablement économes en énergie ! De plus, les façades en éléments de béton protègent très bien contre le bruit et répondent aux exigences de la police des incendies sans mesures spéciales. La physique du bâtiment des façades en béton est décrite ci-après.

Conception de la façade

Les façades préfabriquées en béton sont réalisées en différentes variantes :

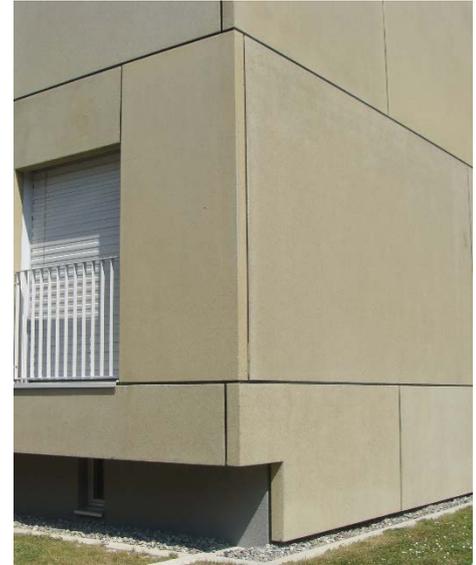
- En tant que construction à une nappe, suspendue et semi-ventilé. Ou comme construction en sandwich à trois nappes. Le « sandwich » se compose d'une couche intérieure, d'une couche porteuse ou non, d'une couche de parement et d'une isolation thermique entre-deux.
- Les éléments sont posés ou suspendus. Pour toutes les fixations et liaisons, il existe des solutions adaptées à l'ouvrage et au déroulement de la fabrication.
- Les joints sont exécutés en tant que joints en mastic ou secs. Les différentes possibilités sont bien expérimentées et à disposition pour toutes les variantes d'exécution.



Vorderrain, Lucerne



Brunnenpark, Zurich



Lillienthal, Opfikon

Fabrication, transport et montage

Les éléments de façade de différentes grandeurs sont en principe faciles à transporter. Dès que l'installation et l'organisation de l'emplacement sont déterminées, le déroulement du montage ainsi que le genre des engins de levage pourront être discutés avec la direction des travaux.

Les phases suivantes de la construction

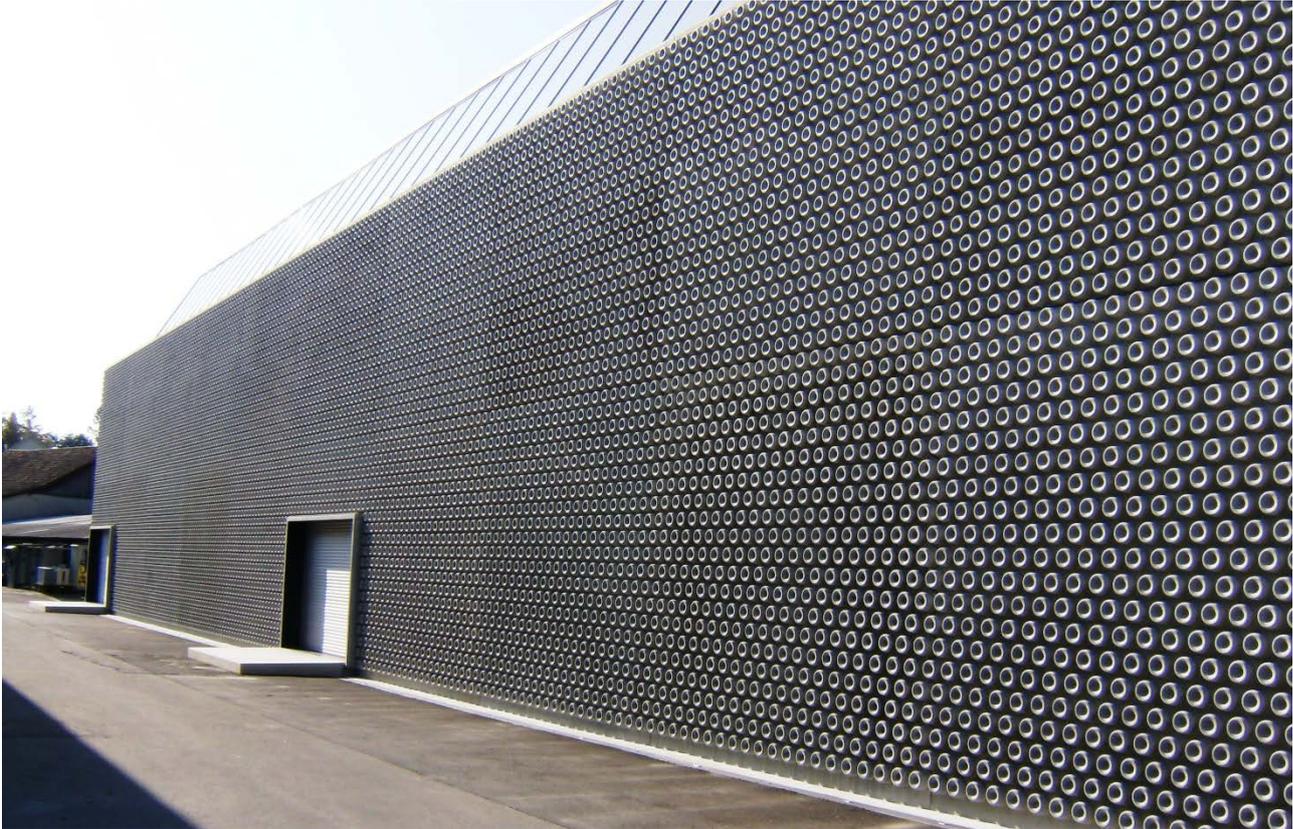
Les travaux d'installation et le second œuvre pour la façade préfabriquée posent moins de problèmes que dans la construction conventionnelle. Ceci réduit la durée de construction. Le cas échéant, certains genres de travaux peuvent même être supprimés – par ex. une partie de l'installation de chantier, les appuis de fenêtre, le crépi intérieur, le gainage et le scellement pour les installations électriques, les couvertures pour les caissons de stores à lamelles, etc.

Qualité

Les façades en éléments de béton sont fabriquées dans des conditions optimales et dans une qualité constante et élevée. Grâce à des types de béton et à des méthodes de production très élaborés, il est possible de garantir une qualité constante et de haute qualité des composants. Chez Elément SA, les processus sont contrôlés et documentés en permanence. Notre entreprise possède les certificats correspondants depuis de nombreuses années.

Dans le cadre de projets internes, nous développons continuellement de nouvelles technologies, méthodes de production et procédures en vue d'améliorer la qualité et l'esthétique des éléments en béton

Quelques exemples



Halle Wirz, Oetwil am See



Ensemble scolaire Goldbach, Küssnacht



IBA, Aarau



Complexe résidentiel Triemli, Zurich



Foyer scolaire, Effingen

Physique des façades en béton

Introduction

Depuis des temps immémoriaux, les individus ont besoin de se protéger des intempéries et de créer une maison pour un espace personnel qui leur permette aussi de vivre confortablement.

L'enveloppe du bâtiment, quelle que soit sa construction, doit donc répondre à ce double besoin. D'une part, elle doit protéger contre des influences extérieures et, d'autre part, elle doit garantir le confort intérieur. La physique du bâtiment en tant qu'application des lois physiques dans l'industrie du bâtiment et en tant que médiateur des connaissances empiriques acquises donne des critères importants pour les décisions du planificateur et de l'entrepreneur

Il s'agit de problèmes qui surviennent, d'une part, à l'intérieur du bâtiment et, d'autre part, sur les éléments de l'enveloppe du bâtiment comme une séparation entre deux climats différents. La physique du bâtiment couvre les domaines de la chaleur (énergie), de l'humidité, des courants d'air, de l'acoustique, du feu et de la lumière du jour.

Dans l'annexe sur les façades préfabriquées en béton, nous traiterons de certaines des questions de physique du bâtiment propres à ce type de construction.

Confort

Le confort thermique est une exigence importante pour l'isolation thermique hivernale et est défini dans les normes SIA. C'est un concept statique en raison des différentes sensibilités des gens.

Par définition, une pièce est considérée comme confortable sur le plan thermique si elle est perçue comme neutre, c'est-à-dire ni trop froide ni trop chaude, par la plupart des résidents lors de l'habillement et des activités définies.

Le confort thermique dépend des influences suivantes :

Influences des résidents :

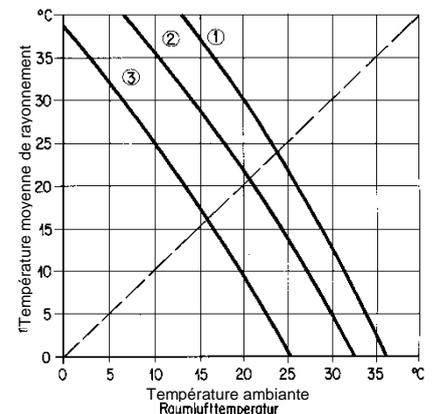
1. leur activité, qui détermine la production de chaleur dans le corps
2. leurs vêtements, dont l'isolation thermique individuelle est plus ou moins élevée

Influences de l'environnement :

1. température de l'air ambiant
2. les températures de surface des composants environnants (donne la température moyenne de rayonnement)
3. humidité relative de l'air ambiant
4. débit d'air

La température moyenne de rayonnement exerce une influence décisive : plus la température des surfaces environnantes est élevée, plus la température de l'air ambiant peut être basse pour le même confort.

Une bonne isolation thermique (faibles valeurs U) permet non seulement de réduire les pertes de chaleur par transmission, mais aussi d'abaisser la température de l'air ambiant et d'économiser ainsi deux fois plus d'énergie de chauffage



Conditions d'ambiance confortables selon P.O. Fanger pour $v = 0,2$ m/s, $\phi = 50$ % humidité relative
①, ②, ③ courbes d'un confort égal
① assis, au repos (environ 100 W/personne) tenue moyenne
② activité moyenne (environ 200 W/personne) tenue légère
③ activité moyenne (environ 200 W/personne) tenue moyenne

Climat extérieur

Exigences physiques du bâtiment	Source	Grandeur pertinente	Valeurs pour 3 sites typiques en Suisse (exemples)		
			Zurich	Davos	Lugano
Isolation thermique en hiver	SIA 180	T min	-15 °C	-20 °C	-4 °C
Isolation thermique en été	SIA 180	T min	32 °C	24 °C	33 °C
		T min	16 °C	26 °C	16 °C
	Metoplan Hlef 1	Rayonnement solaire	W/m2	W/m2	W/m2
		I max	785	965	820
		DH	144	74	109
Dimensionnement du chauffage	SIA 384/2 Puissance thermique requise	T min Construction légère	-11 °C	-17 °C	-5 °C
		T min Construction lourde	-8 °C	-14 °C	-2 °C
Besoin annuel en énergie	SIA 380/1 Energie thermique dans la construction de bâtiments	Période de chauffage	sept-mai	jan-déc	oct-avril
		Jours de chauffage	218	315	176
		Degré-jour de chauffage (pour TL = 20 °C)	3616 K d	5886 K d	36+8 K d
		Rayonnement global moyen, somme de tous les jours de chauffage:			
		GH	483	1086	395
	GN	117	291	111	
	GE/W	278	604	239	
	GS	519	1005	521	

Le béton comme matériau de construction

Le béton est un matériau qui répond aux besoins actuels de la construction de bâtiments :

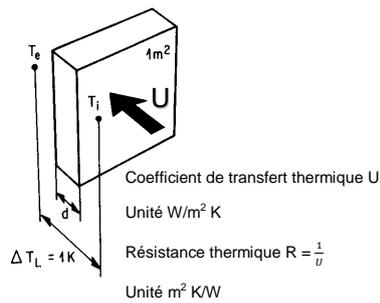
Il est d'une qualité appropriée, durable et étanche, et ne nécessite pratiquement aucun entretien. Il peut supporter des charges statiques élevées. Sa masse et donc son inertie thermique contribuent à l'exploitation de l'énergie solaire en hiver, mais aussi à la protection contre la chaleur du jour en été. Les murs en béton sont de bonnes absorbantes acoustiques et ont une grande résistance au feu. Et le béton offre aux architectes créatifs la possibilité d'un design esthétique grâce à sa formabilité.

Les murs extérieurs qui répondent aux exigences actuelles en matière d'isolation thermique sont soit faits d'un matériau de construction homogène, puis très épais, soit multicouches, chaque couche se voyant attribuer une fonction spécifique :

- **imperméable**
- **calorifuge**
- **supportant statiquement la charge**

C'est le domaine d'application des façades en béton. L'enveloppe extérieure du bâtiment est soumise à diverses contraintes. La façade préfabriquée en béton offre la possibilité d'éviter les contraintes dues à l'écrasement et d'absorber les déformations sans dommage en divisant délibérément les joints.

Isolation thermique



La valeur caractéristique de l'isolation thermique d'un mur extérieur est le coefficient de transfert de chaleur, ou **valeur U** en abrégé (u en $\text{W/m}^2 \text{ K}$). Il est égal au flux de chaleur en W, traversant 1 m^2 de la surface du mur lorsque la différence de température des couches d'air adjacente est $\Delta T = 1 \text{ K}$ ($=1 \text{ }^\circ\text{C}$). La déperdition de chaleur à travers un mur de la zone A et à une différence de température ΔT entre l'air intérieur et l'air extérieur est donc $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ (en W)

Et sur une période de temps t : $Q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$ (en Wh)

Les $\Delta T \cdot t$, résumés sur une certaine période de temps, p. ex. un mois, sont ce qu'on appelle les degrés-heures de chauffage ou degrés-jours de chauffage. Si ceux-ci sont connus à partir des tableaux, la perte de chaleur à travers la surface du mur est calculée :

$$Q = U \cdot A \cdot \frac{\text{HGTx24}}{1000} \quad (\text{en kWh})$$

L'économie d'énergie utile ΔQ par l'amélioration de la valeur U par ΔU est donc :

$$\Delta Q = \Delta U \cdot A \cdot \frac{\text{HGTx24}}{1000} \quad \text{en kWh}$$

Il est à noter que cette perte de chaleur due à la surface du mur ne couvre qu'une partie des besoins totaux en énergie de chauffage pendant la période de chauffage.

Toutefois, ces pertes sont également compensées par les gains de chaleur provenant du rayonnement solaire, de la chaleur perdue provenant de l'éclairage et des appareils ménagers et des données sur la chaleur des personnes.

La valeur U est calculée comme la réciproque de la **résistance thermique**. C'est la somme des résistances individuelles que le flux de chaleur vers l'extérieur doit surmonter.

Les valeurs U des différents types de façades sandwich préfabriquées en béton sont indiquées dans le tableau et la figure ci-dessous. Ils ne contiennent aucun additif pour un effet de pont thermique des ancres.

Avec des valeurs U de $0.15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ à $0.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, les constructions de murs extérieurs répondent aux exigences actuelles des bâtiments Minergie.

Type de façade	Couche intérieure	Couche extérieure	Type isolation thermique EPS 30	Valeurs U en $\text{W/m}^2 \text{ K}$
Façade Sandwich	Béton di = 15 cm	Béton di = 10 cm	160 mm	0.195
			180 mm	0.174
			200 mm	0.158
			220 mm	0.144
	Béton di = 20 cm	Béton di = 10 cm	160 mm	0.194
			180 mm	0.174
		200 mm	0.157	
		220 mm	0.143	

Avec les ancrages en acier inoxydable (qualité V4A = acier au chrome-nickel), l'effet de pont thermique est si faible en raison des petites sections et de la conductivité thermique relativement faible de l'acier V4A que l'on peut généralement les négliger.

Accumulation de chaleur

Une construction lourde avec sa capacité d'accumulation de chaleur présente généralement les avantages suivants :

- un plus grand confort (moins de fluctuations de la température de l'air ambiant, des températures maximales plus basses en été, une baisse de température plus lente en cas de panne de chauffage),
- une meilleure utilisation du rayonnement solaire et des sources de chaleur internes (chaleur gratuite) absorbées par les fenêtres pendant la journée, ce qui permet d'économiser l'énergie de chauffage.

Le degré d'utilisation de la chaleur libre dépend du rapport entre le gain de chaleur et la perte de chaleur, de la masse de stockage effective et de la régulation du chauffage, qui devrait permettre certaines fluctuations de la température de l'air ambiant.

Les façades préfabriquées en béton comme les façades sandwich ainsi que les constructions ventilées à l'arrière offrent l'avantage que la couche lourde peut être comptée pour la masse de d'accumulation interne effective du côté de la pièce de l'isolation thermique.

Diffusion de vapeur d'eau

En termes de diffusion de vapeur, un mur de béton n'est pas un problème. Selon la conception, les transitions structurelles doivent être observées du point de vue de la physique du bâtiment.

Isolation acoustique

Une protection efficace contre les bruits extérieurs est l'une des composantes les plus importantes du confort, avec les exigences d'isolation thermique.

Habituellement, l'intensité d'un événement de bruit est mesurée avec le niveau sonore pondéré, en dB (A). L'oreille humaine perçoit une réduction de bruit de moitié lorsque le niveau sonore diminue de 10 dB (A), ou un doublement du bruit lorsque le niveau sonore augmente de 10 dB (A).

Les informations suivantes illustrent comment le volume sonore peut fluctuer à l'extérieur d'un bâtiment :

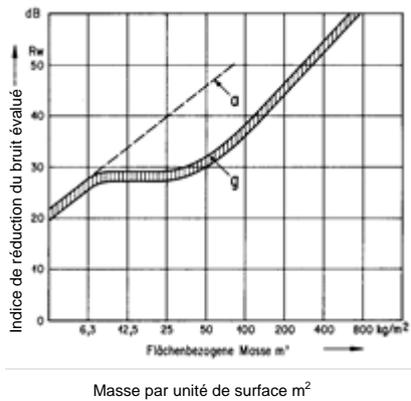
	Niveau de son	Ressenti
Zone résidentielle sans circulation	40 dB (A)	Faible
Rue calme	50 dB (A)	
Voiture à 10 m de distance	60 dB (A)	Fort
Grande conversation	70 dB (A)	
Rue bruyante	80 dB (A)	
Camion à 5 m de distance	90 dB (A)	Très fort
Avion à 50 m du sol	100 dB (A)	

Dans le cas de murs extérieurs, la protection contre le bruit extérieur est une priorité. Cette isolation aux bruits aériens est décrite par l'indice d'isolation acoustique R, qui est défini comme suit :

$$R = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_2}$$

W1 correspond à la puissance sonore du côté fort, W2 à la puissance sonore du côté calme.

L'indice de réduction du bruit est une variable dépendante de la fréquence. Il est possible de déterminer un indice d'affaiblissement acoustique évalué R_w , qui correspond approximativement à la valeur moyenne algébrique des différentes masses d'affaiblissement acoustique dans la gamme de fréquences acoustiques du bâtiment de 100 à 3 150 Hz. Plus le R_w est élevé, meilleure est l'isolation acoustique d'un élément de construction.



L'isolation aux bruits aériens des murs monocoques peut être déterminée approximativement à partir de leur masse relative à la surface (en kg/m^2) d'après le diagramme adjacent.

Courbe a: selon la loi théorique de la masse (pour $f = 923$ Hz) $R_w = 20 (\log m') + 12$

Courbe g: Expérience pratique

Indice d'insonorisation R_w évalué d'une paroi homogène à simple couche

Il s'avère que les murs lourds en béton ont une excellente isolation acoustique :

Béton 12 cm $R_w = 49$ dB (A)

Béton 15 cm $R_w = 52$ dB (A)

Béton 20 cm $R_w = 56$ dB (A)

Malheureusement, l'isolation thermique entre les couches en béton, en particulier les panneaux de polystyrène relativement rigides, aggrave ces valeurs élevées d'isolation acoustique dans les façades sandwich. On peut s'attendre à une détérioration d'environ 3 à 6 dB (A) par rapport à un mur du même poids sans isolation thermique. La raison de la réduction de l'isolation acoustique est que les ondes sonores sont mieux transmises à proximité d'une fréquence de résonance.

En termes d'isolation acoustique, cependant, les fenêtres sont les parties les plus faibles d'un mur extérieur. Ils ont généralement une insonorisation inférieure à celle des murs extérieurs, surtout pour les façades lourdes en béton.

Protection contre incendie

Le béton possède d'excellentes propriétés pour la protection structurale contre l'incendie. Il est incombustible et peut résister au feu sans mesures spéciales ni revêtement d'aucune sorte. Il empêche le feu de se propager, ne fume pas et ne dégage pas de gaz toxiques. Grâce à sa forte inertie thermique, le béton résiste longtemps à de très hautes températures.

Cependant, si la température augmente rapidement et que le taux d'humidité est encore élevé, il y a un risque d'écaillage du béton, exposant ainsi l'armature métallique. Dans cet état, la résistance au feu de l'armature apparente est rapidement épuisée.

Les exigences en matière de protection contre l'incendie pour le béton sont définies dans la norme SIA 262 (y compris le correctif C1).

Résistance au feu

La résistance au feu est un terme important pour les composants. La résistance au feu est la durée en minutes pendant laquelle un composant résiste à une courbe de température d'incen-

die définie, c'est-à-dire qu'il empêche le passage du feu et de la fumée, qu'il conserve sa fonction statique et qu'aucune température de surface élevée inadmissible ne se produit sur le côté opposé au feu. Une classe de résistance au feu, par exemple EI/REI 60, signifie une durée de résistance au feu de 60 minutes.

Les températures atteintes sur la face opposée au feu dépendent de l'épaisseur du panneau. L'épaisseur minimale des dalles en béton armé pour éviter les dépassements de température est :

	Epaisseur minimale de paroi en cm		
Murs porteurs	REI 30	REI 60	REI 90
Béton porteur	12	14	17
Murs non porteurs	EI 30	EI 60	EI 90
Béton non porteur	8	8	10

Une défaillance de la capacité portante se produit généralement lorsqu'une température critique de l'acier d'armature est atteinte en raison du chauffage (pour l'acier d'armature S500, par ex. env. 500 °C). Ce chauffage dépend avant tout de la couverture en béton. La température de l'acier atteint 500 °C :

- à 2 cm de couverture en béton après 60 minutes d'incendie
- à une couverture de béton de 3 cm après 90 minutes d'incendie