

Cahier technique pour les constructions en béton de parement

Troisième édition, entièrement révisée, 2020
Cahier technique CT 02

Publié par :

BETON SUISSE



Table des matières

	Avant-propos	4
	Membres du groupe de travail	5
1	Champ d'application	6
	1.1 Délimitation	6
	1.2 Références	7
	1.3 Intégration contractuelle du présent Cahier	7
2	Notions et définitions	8
3	Aspects pouvant être donnés au béton de parement	12
	3.1 Généralités	12
	3.2 Effets obtenus par la peau de coffrage et le coffrage lui-même	14
	3.3 Types de coffrage	20
4	L'équipe du béton de parement	21
5	Classes de surface de béton apparent	22
	5.1 Définition des différentes classes de surface de béton apparent (CBA)	22
	5.2 Exigences posées aux surfaces de béton	23
6	Le projet	31
	6.1 Généralités	31
	6.2 Convention d'utilisation	32
	6.3 Possibilité de réalisation	32
	6.4 Prévention des défauts du béton au stade de la conception de l'ouvrage	32
	6.5 Management de l'assurance qualité relative au projet (PAQ)	39
	6.6 Veiller à la maîtrise des coûts	39
	6.7 Durée de la construction et reports de délais	39
7	Mise en soumission	40
	7.1 Bases essentielles	40
	7.2 Éléments de référence	41
8	Exécution	42
9	Évaluation	43
	9.1 Généralités	43
	9.2 Impression générale	43
	9.3 Critères particuliers	43
	9.4 Réception	43
10	Réparation, cosmétique du béton	44
11	Bibliographie, crédits photos	45
	Annexes	47

Avant-propos

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde et c'est en même temps celui que l'on façonne le plus facilement. C'est pourquoi il est devenu ces dernières décennies le matériau préféré des architectes à la recherche de l'esthétique pure.

Le béton est un matériau qui a du style. Il permet à la forme d'être expressive. Il n'est pas seulement structure et espace, mais offre également des surfaces qui captent le regard. D'une part, la surface finie a fixé à demeure l'instant de son durcissement, d'autre part, elle peut être soumise à diverses modifications tant pendant la construction que pendant l'utilisation. Là, le processus de la construction agit à l'envers. La surface reflète en négatif (le coffrage est en place) le motif de la surface du coffrage. Depuis des décennies, le béton de parement est un élément de design et confère à une surface un caractère original. Il gagne en importance auprès de nombreux architectes. On peut dire qu'il est très « tendance ».

Par béton de parement, on entend la surface de béton qui reste visible et qui répond à des exigences esthétiques définies, dont le respect implique un soin attentif de la part de tous les intervenants. Cela suppose de l'exactitude dans les plans, de la précision dans l'exécution, ainsi que l'amour du détail à tous les stades – ce qui nécessite une entente et une coordination parfaites. Seule la bonne coopération entre concepteurs, maîtres d'ouvrage et exécutants et les années d'expérience qu'ils ont à leur actif, permettent de répondre de manière ciblée aux exigences parfois élevées requises pour les surfaces du béton de parement.

Cette troisième édition du Cahier technique pour les constructions en béton de parement, lequel est très apprécié dans la pratique, a été entièrement révisée et mise à jour. Le présent Cahier contient des indications supplémentaires et des ajouts sur le béton de parement complétant les normes SIA actuellement en vigueur. BETONSUISSE Marketing AG remercie l'auteur Dr. Frank Jacobs et les membres du groupe de soutien Ivo Haefeli, Cathleen Hoffmann et Emanuel Meyer ainsi qu'Olivia Zbinden, pour leur grand engagement et leur coopération efficace, sans lesquels le Cahier n'aurait pas pu être remanié.

Avec cette édition actualisée du Cahier technique pour les constructions en béton de parement, nous espérons avoir réussi à éveiller votre intérêt pour la construction en béton moderne et vous avoir fourni un outil utile. Cela étant, vos conseils et astuces sont toujours les bienvenus.

Berne, janvier 2020

Dr. Peter Lunk
Directeur général adjoint BETONSUISSE Marketing AG

Membres du groupe de travail

Auteur

Jacobs Frank, Dr. sc. techn. ETH, Wildegg
TFB SA

Groupe de soutien

Haefeli Ivo, Péry
Ciments Vigier SA

Hoffmann Cathleen, ingénieur civil diplômée TU, Würenlingen
Holcim (Suisse) SA

Meyer Emanuel, Wildegg
Jura-Cement-Fabriken AG

Zbinden Olivia, responsable des RP et Promotion, Berne
BETONSUISSE Marketing AG

Remerciements

L'éditeur remercie de leur précieuse contribution les auteurs, ainsi que les représentants des organisations et institutions ayant apporté leur collaboration.

1 Champ d'application

1.1 Délimitation

Le présent Cahier s'adresse en premier lieu aux concepteurs (architectes et ingénieurs), mais également aux maîtres d'ouvrage, à leurs représentants, aux investisseurs et aux entrepreneurs, qui sont confrontés aux problèmes du béton de parement.

Il contient des indications à suivre pour obtenir qu'un tel béton ait la qualité souhaitée. Il complète les normes SN EN 206, SIA 262, SIA 118/262 et SN EN 13670.

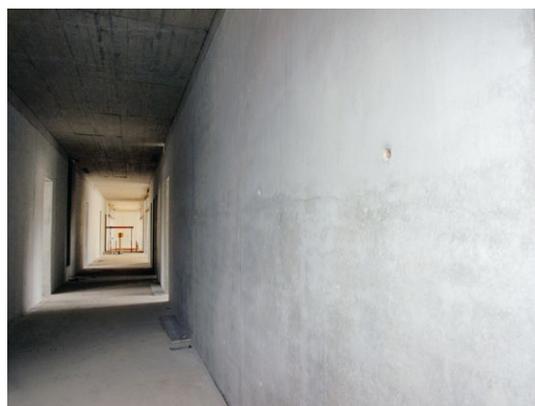
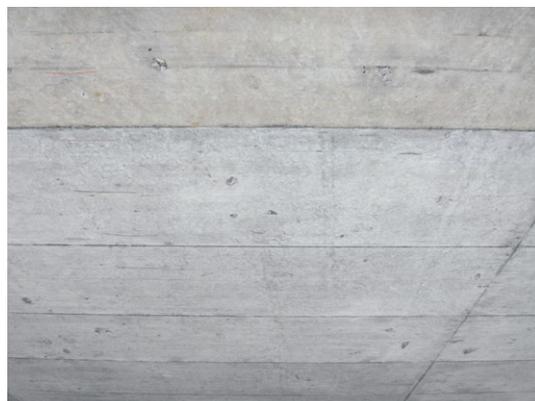
Le Cahier concerne les surfaces de béton coffrées (classes de surface de béton apparent 2, 3, S) mises en soumission en tant que béton de parement. Les surfaces de béton visibles avec de faibles exigences esthétiques (CBA 1) ne sont pas du béton de parement selon la norme SIA 118/262, mais sont répertoriées par souci d'exhaustivité et pour une meilleure compréhension.

Les surfaces de béton traitées, par exemple sablées, bouchardées, acidifiées, ainsi que la protection des surfaces et leur remise en état ne sont prises en compte que de façon marginale. Les règles contenues dans ce Cahier concernent principalement le béton selon la norme SN EN 206. Pour le béton projeté, le béton léger et le béton de recyclage par exemple, elles doivent, le cas échéant, être adaptées aux spécificités de ces matériaux.

Ce Cahier concerne avant tout le béton coulé en place, mais peut également être utile à la production d'éléments préfabriqués.

Ce Cahier mentionne certains aspects de l'exécution que le concepteur doit d'emblée prendre en compte dans l'élaboration de son projet. La réalisation des constructions, les détails d'exécution, la composition des bétons, les bétons teintés dans la masse, l'utilisation d'agents de démoulage, la mise en place et le compactage du béton, etc., ne sont pas traités en détail dans le présent Cahier.

Figure 1 : Exemples de surfaces brutes de décoffrage, mais sans exigences esthétiques



1.2 Références

Dans le système de normalisation suisse, la norme SIA 118/262 réglemente entre autres le béton de parement. Cette norme a été publiée dans une nouvelle version en 2018. D'une part, des règles de la version précédente, la SIA 118/262:2004, ont été adoptées et, d'autre part, de nouvelles règles tirées du Cahier technique pour les constructions en béton de parement CT 02 de cemsuisse ont également été intégrées. Les principales nouveautés de la norme SIA 118/262 concernent :

- La séparation des exigences relatives au coffrage ou à la peau de coffrage et à la surface de béton
- Introduction de classes de surface de béton apparent (CBA)
- La division des classes de surface de béton apparent pour le béton de parement en exigences « normales » et exigences « élevées »
- La définition plus précise des fréquents écarts (défauts) non tolérés dans le béton de parement

La norme SIA 118/262 étant très concise comme il est d'usage dans les normes, le Cahier technique CT 02 révisé a pour objectif d'expliquer les règles de la norme SIA 118/262 et de les préciser dans les quelques détails suivants :

- Structure de la classe de surface de béton apparent CBA 0
- Joints étanches pour CBA 1
- Autorisation d'un coffrage cadres pour CBA 2

Le texte du présent Cahier fait référence aux normes mentionnées ci-dessous. L'année de ces documents n'est pas spécialement indiquée. C'est chaque fois la dernière édition (la plus récente) qui est déterminante.

Norme SIA 118/262	Conditions générales pour la construction en béton
Norme SIA 262	Construction en béton
Norme SIA 414/1	Tolérances dimensionnelles dans la construction – notions et définitions, principes de base et règles d'application
Norme SIA 414/2	Tolérances dimensionnelles dans la construction
Norme SN EN 206	Béton – spécification, performances, production et conformité
Norme SN EN 13670	Exécution des structures en béton

1.3 Intégration contractuelle du présent Cahier

Il est recommandé de spécifier qu'outre les dispositions de la norme SIA 118/262, celles du présent Cahier font partie intégrante du contrat d'entreprise.

Les exigences posées dans ce Cahier quant aux surfaces de béton de parement coffrées vont, dans certains points, plus loin que celles définies dans la norme SIA 118/262. Aussi ledit cahier doit-il être préféré à la norme SIA 118/262 dans l'ordre de priorité des éléments du contrat pour les surfaces de béton de parement.

Le Cahier contient des propositions concernant les tâches des parties concernées. Si ces propositions sont contraires aux prescriptions des normes SIA, par exemple SIA 118, SIA 118/262, ces propositions ne font partie du contrat que si elles ont été explicitement convenues.

2 Notions et définitions

Dans le présent Cahier il est fait usage des termes et notions techniques ci-après.

Tige de coffrage	Voir Clavettes.
Délai de décoffrage	Délai à respecter entre la mise en place du béton et le décoffrage. En matière de béton de parement, il appartient à l'ingénieur de fixer ce délai, lequel dépendra de la résistance du béton, des conditions météorologiques, de la fonction portante de l'élément en cause et des sollicitations dont celui-ci sera l'objet.
Béton à propriétés spécifiées	Béton selon la norme SN EN 206 pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires le cas échéant, sont spécifiées au producteur. Le producteur a la responsabilité de fournir un béton qui satisfait à ces propriétés requises et à ces caractéristiques supplémentaires.
Béton à composition prescrite	Béton selon la norme SN EN 206 pour lequel la composition du béton et les constituants à utiliser sont spécifiés au producteur, qui a la responsabilité de fabriquer un béton respectant cette composition prescrite.
Étape de bétonnage	Bétonnage réalisé sans interruption. En matière de béton de parement, les étapes de bétonnage doivent être fixées au préalable.
Enrobage des armatures	Distance séparant la surface des armatures de celle du béton. L'enrobage choisi c_{nom} selon la norme SIA 262, doit être indiqué dans les plans et tient compte des écarts tolérés.
Points d'attache (trous d'ancrage)	Trous pour clavettes ; prestation incluse selon SIA 118/262 : fermeture des trous de clavettes avec des embouts en plastique.
Ressuage	Tendance du béton frais à relâcher de l'eau à la surface du béton. Le ressuage apparaît pendant ou après la mise en place et peut durer jusqu'au début de la prise.
Traces de laitance	Des coulures de laitance de ciment ou de ses éléments fins, peuvent entre autres apparaître au droit de joints de coffrage non étanches.
Classe de surface de béton apparent	Dans le cas de surfaces de béton qui restent visibles, les exigences relatives à l'aspect et celles relatives à la surface coffrée sont définies par des classes de surface de béton apparent.
Cales (distanceurs, taquets)	Éléments aux formes diverses en mortier à base de ciment (éventuellement renforcé de fibres) ou de résine, ou en plastique ; fixées à l'armature, les cales servent à maintenir durant le bétonnage l'enrobage prescrit entre le coffrage et l'armature. Après l'achèvement de l'ouvrage, elles n'affectent ni la durabilité de ce béton, ni son aptitude à l'emploi.
Teinte du béton	Avec la luminosité et l'intensité, la teinte est l'une des trois composantes de la couleur perçue par l'œil humain. Elle joue donc un rôle majeur dans la fixation des exigences relatives à la surface d'un béton de parement (cf. aussi Colorations indésirables).
Joint	Trace horizontale ou verticale apparaissant sur la surface du béton pour cause de reprise du bétonnage, de dilatation du béton ou de joint dans la peau de coffrage.

Plan des joints	Disposition et nature des joints sur une surface déterminée en béton de parement.
Décrochement (balèvre)	Sur une surface de béton coffré, rebord inapproprié, angulaire et en saillie, d'un élément par rapport à l'élément voisin, dû à une mauvaise mise en place du coffrage (\neq arête).
Efflorescences de chaux	Décolorations claires, parfois aussi sombres, sur la surface du béton, principalement causées par la chaux (carbonate de calcium). Elles peuvent apparaître d'une part lorsque le béton jeune sèche et d'autre part en raison des intempéries (pluie, neige, humidité élevée, etc.).
Nid de gravier	Partie de la surface du béton ouverte et très poreuse due à un démélange local du béton frais, qui se caractérise par une concentration de granulats grossiers, pauvre en mortier.
Bullage	Ensemble de petits creux de forme généralement irrégulière, pouvant apparaître en surface lors du durcissement du béton dans son coffrage. Ils apparaissent principalement sur les zones supérieures des éléments verticaux et peuvent avoir une influence sur l'impression visuelle d'ensemble donnée par la surface du béton.
Défaut	Différence négative par rapport à une exigence contractuelle.
Marbrures	Nuages ou différences de teinte en forme de stries sur la surface d'un béton de parement.
Farine	Matériau fin dans le béton, composé de ciment, de granulats jusqu'à 0,125 mm et le cas échéant, d'additions.
Échantillon (réalisation à la main)	Petits échantillons, p. ex. au format de dalles de jardin, qui peuvent être utilisés pour une première évaluation de certains aspects tels que la coloration (p. ex. la teneur en pigment, la teinte du ciment) et le traitement de surface (p. ex. la profondeur de l'intervention, la rugosité). Il convient de noter que l'aspect des échantillons diffère généralement des éléments réels, puisque la composition du béton, le compactage, le coffrage, etc., sont différents.
Cure	La cure du béton au jeune âge a pour objet de protéger la surface du matériau après décoffrage contre la dessiccation et les agressions du milieu environnant, en faisant en sorte que ladite surface soit fermée, aussi étanche que possible et résistante. Le processus de cure doit être défini de telle sorte que cette opération n'ait pas d'effets indésirables sur l'aspect du béton de parement. La norme SIA 262 contient des exigences en matière de cure.
Classe de cure	La durée de la cure doit être fixée en fonction du développement des résistances en surface du béton ou sinon, conformément à la norme SIA 262. La norme SIA 262 distingue les classes de cure NBK 1 à NBK 4. La classe de cure doit être déterminée au cas par cas tant pour les éléments intérieurs qu'en fonction du degré d'exposition de l'ouvrage aux intempéries.
Pores (pores d'air, pores après compactage)	Interstices se formant naturellement dans le béton frais lors du malaxage et de la mise en place dans le coffrage, et contenant de l'eau ou de l'air.

Élément de référence	Élément dont la présentation sert de standard contractuel entre l'entrepreneur et le maître d'ouvrage pour l'évaluation et l'acceptation d'une construction réalisée entièrement ou en partie en béton de parement. La norme SIA 118/262 réglemente le moment où la production d'éléments de référence est recommandée ou obligatoire et les exigences qui doivent être respectées lors de leur production.
Traces de réparation sur le coffrage	Admises en fonction de la classe de surface de béton apparent, selon SIA 118/262 ; si autorisées, à ne confier qu'à du personnel qualifié capable de les réaliser dans les règles de l'art.
Ripplings	Boursoufflures de la peau de coffrage dans la zone de clouage/vissage ou dans les zones de découpe des panneaux.
Rouille	Voir Salissures.
Peau de coffrage	Surface du coffrage touchant le béton. Le pouvoir absorbant de la peau de coffrage (effet buvard) a notamment un effet sur la clarté de la teinte, les variations dans le ton gris, le farinage, la tendance des fines à s'accumuler en surface, le nombre de pores et leur taille, ainsi que le rapport e/c, dans le béton proche de cette surface.
Coffrages	Formes creuses dans lesquelles on coule le béton frais et que l'on éloigne lorsque le béton est durci – à l'exception p. ex. des coffrages « perdus ». Un coffrage se compose d'un système de coffrage et d'une peau de coffrage. On choisira le type de coffrage selon la fonction et le type de l'ouvrage à construire. Sa forme représente donc le négatif de l'élément en béton à réaliser. En choisissant telle peau de coffrage ou tel système de coffrage impliquant un certain type de surface on pourra donner au béton de parement l'aspect voulu.
Clavettes (ancrage du coffrage)	Élément assurant une liaison résistant à la traction (ancrage) entre deux coffrages afin de reprendre la pression du béton frais.
Plan de calepinage	Plan pour la mise en soumission (descriptif des prestations, contrat d'entreprise) d'un ouvrage en béton de parement, comportant notamment des indications sur le système de coffrage, la dimension des éléments de coffrage, les points d'ancrage, les étapes de bétonnage, les joints, etc.
Types de coffrage	Selon la norme SIA 118/262, il existe 4 types de coffrage : Type 1 : béton d'aspect ordinaire Type 2 : béton d'aspect soigné Type 3 : béton de parement conservant l'empreinte des lames de coffrage Type 4 : béton de parement conservant l'empreinte des panneaux de coffrage
Système de coffrage	Coffrages pour piliers, parois ou dalles, tels que p. ex. coffrages panneaux avec poutrelles de bois ou de métal (avec cerclages métalliques) ou coffrages cadres métalliques (avec peau de coffrage standard incorporée [en gén. panneaux multicouches] et points d'ancrage prescrits).
Couche de mise en place	Hauteur d'une couche du béton coulé et compacté
Béton de parement	Béton répondant à des exigences définies quant à l'aspect de ses surfaces exposées à la vue. La surface visible est la partie de béton visible après l'achèvement, qui permet de voir la configuration et la fabrication.

L'équipe du béton de parement	Groupe de personnes (maître d'ouvrage, ingénieur civil, architecte, direction des travaux, producteur de BPE, entrepreneur, contremaître, ouvriers de chantier etc.) responsables de la coordination du processus de construction, de la gestion du flux d'informations, etc. en vue de la construction d'un ouvrage en béton de parement.
Structure	La structure est l'aspect de la surface du béton (rugueuse, lisse, structure bois, etc.). La structure est également influencée par l'homogénéité de la surface en béton, les décalages, les bosses et les creux à la surface, etc. La structure est parfois aussi appelée texture.
Texture	Au sens propre, disposition spatiale des composants (lames, panneaux, joints, points d'attache, etc.) de la surface de béton ; est souvent utilisé au même sens que le terme structure.
Agents de démoulage	Les agents de démoulage (huiles de démoulage) assurent un décoffrage optimal des surfaces de béton en permettant de limiter les défauts aux endroits délicats, tels que les arêtes et les angles.
Défaut de planéité	Écart dans la planéité des surfaces de béton. Cela se traduit p. ex. par des ondulations ou des bavures, essentiellement au droit des joints de coffrage ou des joints de reprise.
Colorations indésirables	Des colorations claires ou foncées non voulues sur la surface du béton peuvent provenir des constituants du matériau, d'interactions de celui-ci avec la peau du coffrage, du compactage, ainsi que des conditions climatiques.
Salissure	Contamination p. ex. par la saleté, la poussière, la rouille, les marquages gênants, les cours d'eau perturbateurs. Prestation incluse selon SIA 118/262 : <ul style="list-style-type: none"> – Mesures de protection contre la salissure et les dommages mécaniques des éléments finis et exécutés dans le cadre des travaux de l'entrepreneur jusqu'à la réception de l'élément, y compris la protection des arêtes si nécessaire – Mesures de protection contre les taches de rouille, dans la mesure où il existe une exigence correspondante pour la classe de surface de béton apparent considérée, selon la norme SIA 118/262, annexe C, tableau 7 Prestation non incluse selon SIA 118/262 : mesures spéciales de protection contre la pollution par l'eau couleur rouille, si elles ne sont pas exigées dans le tableau 7 de l'annexe C de la norme SIA 118/262.
Rapport e/c	Rapport entre la masse de l'eau efficace et la teneur en ciment dans le béton frais ; voir SN EN 206.
Voiles	Vaste décoloration en forme de taches et parfois de stries sur la surface du béton de parement.

3 Aspects pouvant être donnés au béton de parement

3.1 Généralités

L'aspect que l'on veut donner durablement au béton de parement est l'un de ses éléments les plus importants. Il doit être fixé d'entente entre le concepteur et le maître d'ouvrage.

Après le décoffrage, le béton présente l'aspect que lui donne la couche de mortier (ciment durci et farine) située en surface, laquelle porte l'empreinte du coffrage utilisé. On peut donner à cette surface divers aspects, suivant la manière dont on traite le béton, en recourant par exemple aux moyens suivants :

- dimension et disposition des éléments de coffrage,
- propriétés, structure et type de la peau de coffrage (p. ex. lames de bois brut, panneaux lisses, coffrage à matrices, nattes drainantes, panneaux OSB, etc.),
- introduction d'incorporés entre le coffrage et le béton (doublages, baguettes, matrices, ornements, motifs sculptés ou découpés, etc.),

- après décoffrage : traitement mécanique (sciage, cassage, ponçage, polissage) traitement à l'outil (bosselage, piquage, bouchardage, nervurage), lavage (lavage avec retardateur de prise spécial, lavage fin, traitement à l'acide) ou traitement spécial (sablage, décapage au chalumeau, lavage à haute pression, technique photographique),
- disposition des clavettes, trous de liaison, joints de coffrage et joints de bétonnage, présentation des arêtes, etc.,
- choix de la teinte (type de ciment et/ou de granulat, incorporation de farine de pierre et/ou de pigment, lasure, enduit etc.).

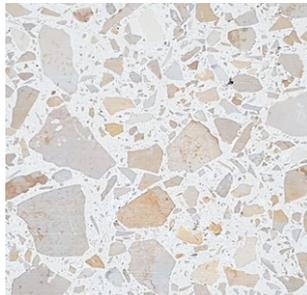
Il faut consulter un spécialiste en cas d'inexpérience sur le sujet.

Figure 2 : Exemples de traitement mécanique

Polissage



Ponçage (béton avec D_{max} 16)



Béton cassé



Figure 3 : Exemples de traitement à l'outil

Bosselage



Piquetage (béton avec D_{max} 16)



Bouchardage



Figure 4 : Exemples de traitement par lavage ou à l'acide

Lavage (avec retardateur)



Lavage fin (avec retardateur)



Lavage à l'acide



Figure 5 : Exemples de traitements spéciaux

Sablage



Lavage à haute pression
(Béton avec D_{max} 16)



Technique photographique



Figure 6 : Exemple d'insertion d'éléments

Ornement en relief



Ornement taillé dans le bois

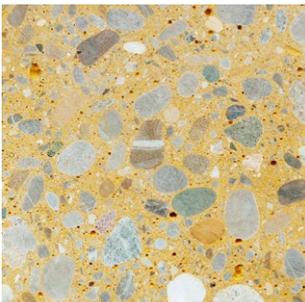


Insertion d'une matrice en plastique

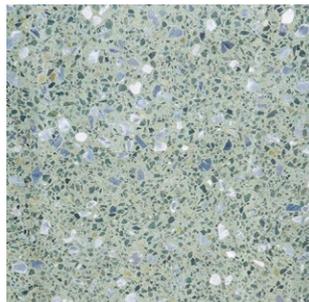


Figure 7 : Exemples de coloration dans la masse, du béton poncé avec D_{max} 16 et D_{max} 32 (à l'extrême droite)

Avec des pigments de couleur jaune



Avec du granulat de couleur



Avec de la farine de pierre verte



Avec du ciment clair



3.2 Effets obtenus par la peau de coffrage et le coffrage lui-même

3.2.1 Remarque préliminaire

La nature du coffrage joue un rôle important pour la réussite d'un béton de parement. Le coffrage donne au béton d'une part la forme voulue et d'autre part, en surface, l'aspect, la structure et une certaine coloration du matériau.

Le coffrage se compose de sa peau, qui est en contact avec le béton, et de la structure qui le porte (système de coffrage : généralement coffrages cadres ou coffrages panneaux avec poutrelles), et reprend les charges (p. ex. du béton frais).

Ces dernières provoquent inévitablement des déformations qui doivent être maintenues dans les limites les plus étroites possibles, grâce à la rigidité du coffrage.

Le choix du coffrage se fait généralement sur la base des critères suivants :

- qualité de parement désirée,
- nombre des réutilisations possibles,
- coût de montage du coffrage,
- mode de mise en place et de compactage du béton.

3.2.2 Système de coffrage

Lors de l'établissement du cahier des charges, on tiendra compte le plus possible des types de coffrage disponibles sur le marché. En plus des coffrages conventionnels, on utilise aujourd'hui volontiers des systèmes (coffrages cadres, coffrages panneaux avec poutrelles), qui sont offerts par divers fabricants de coffrages. Voilà pourquoi une bonne coordination doit d'emblée être établie entre les intervenants. Il est judicieux de s'assurer, dès l'établissement des plans, que l'aspect devant être donné au béton de parement correspond à ce qui est techniquement réalisable, comme p. ex. le système de coffrage. Mais il est possible de fixer tous les types de peau de coffrage disponibles sur les divers systèmes existants.

Figure 8 : Systèmes de coffrage

Coffrage conventionnel



Coffrage cadres



Coffrage panneaux avec poutrelles



Coffrage circulaire



Coffrage d'une colonne



3.2.3 Peau de coffrage

La peau du coffrage détermine la texture de la surface du béton.

Voici les types de peau de coffrage les plus courants :

- Lame brute non rabotée ; des lames brutes et non traitées peuvent causer le farinage et la désagrégation de la surface du béton
- Lame rabotée lisse
- Coffrages en bois avec p. ex. un film de résine de mélamine ou de résine phénolique ; dans le cas de coffrages enduits de résine phénolique, des colorations jaunes ou brunes peuvent apparaître sur la surface du béton
- Banche métallique, très rarement utilisé avec du béton de parement
- Panneau synthétique
- Matrices en plastique ; lors de l'utilisation, faire attention au tracé et à la direction de la structure
- Natte drainante, très rarement utilisée avec du béton de parement
- Etc.

Figure 9 : Lames brutes



Figure 10 : Lames rabotées



Figure 11 : Panneau multiplis en bouleau

Peau : film en résine phénolique

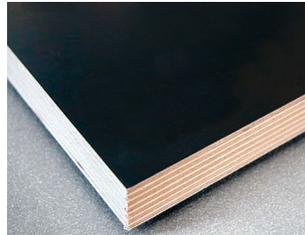


Figure 12 : Panneaux à trois couches

Peau : résine de mélamine

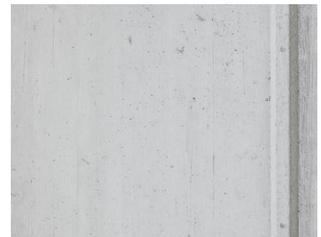
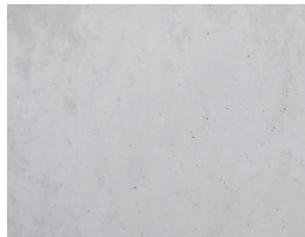


Figure 13 : Panneau synthétique (« alkus »)

Peau : film de polypropylène

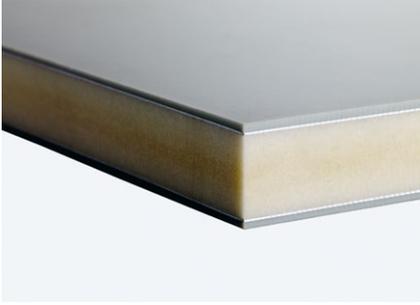


Figure 14 : Bois asiatique contreplaqué

Peau : film en résine phénolique



Figure 15 : Banches métalliques



Figure 16 : Panneau de contreplaqué brut

Peau : un seul ponçage



Figure 17 : Panneaux OSB



Figure 18 : Nette drainante



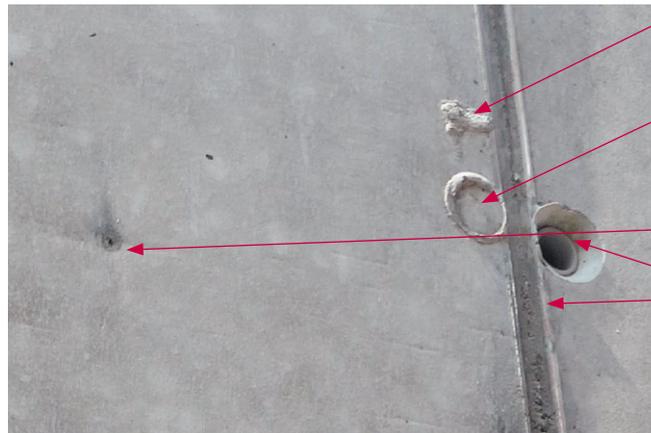
Qualité de la peau de coffrage

Les points suivants quant à la qualité de la peau de coffrage peuvent avoir une forte influence sur la surface du béton :

- percements, p. ex. trappes d'ouverture en matière synthétique
- trous de clouage ou pour vis, Fig. 19 (haut)
- empreinte d'éraflures, écaillages du coffrage, Fig. 19 (haut)
- nœuds, amas résineux
- restes de béton adhérents, p ex. dans des creux (trous de clouage, éraflures)
- voiles de ciments
- boursouflures dans la zone de clouage/vissage ou dans les zones de découpe des panneaux (rippings), Fig. 19 (haut)
- Traces de réparation (si permis, à ne confier qu'à du personnel qualifié capable de les réaliser dans les règles de l'art), Fig. 19 (haut)
- Dommages dus au pervibrateur, Fig. 19 (bas)

Le tableau 4 (page 23) réglemente les exigences relatives à la qualité de la peau de coffrage en fonction de la classe de surface de béton apparent.

Fig. 19 (haut) :



- Empreinte d'un coffrage endommagé (écaillé)
- Empreinte d'une trace de réparation non professionnelle pour CBA 2
- Rippling dans la zone de clouage
- Point d'attache
- Empreinte de coffrage cadres

Fig. 19 (bas) :



- Empreinte de coffrage endommagé par le pervibrateur

3.2.4 Pouvoir absorbant de la peau de coffrage

Le tableau suivant présente les types de peau de coffrage courants, classés selon leur pouvoir absorbant (absorbant à non absorbant), leurs caractéristiques et leurs effets potentiels sur la surface du béton. La mise en soumission doit préciser la fréquence à laquelle la peau de coffrage peut être utilisée.

Tabl.1 : Caractéristiques et effets des différentes peaux de coffrage

	Type/propriété de la peau de coffrage	Caractéristiques de la surface de béton	Effets potentiels
1	absorbant	Lames brutes	texture de bois brut (rugueuse, pouvoir absorbant élevé), teinte foncée
2		Lames rabotées	texture lisse (faible pouvoir absorbant), nettement plus claire que n°1
3		Panneaux agglomérés, sans revêtement	légèrement rugueuse, teinte foncée
4		Natte drainante	structurée avec effet quadrillé, plus foncée que n°3
5	peu absorbant	Panneaux 3-plis, surface traitée, structure bois, durcie par projection	foncée lors des premières utilisations, plus claire ensuite
6		Tubes de coffrage en carton	lisse, claire
7		Panneaux de bois contreplaqués, revêtus d'un placage comportant un film absorbant	lisse
8		Panneaux de bois contreplaqué	texture légèrement rugueuse, veines partiellement apparentes
9	non ou très faiblement absorbant	Panneaux traités en surface, lisses ou non	lisse, claire
10		Panneaux finlandais revêtus de résine synthétique	structurée avec effet quadrillé, légèrement plus foncée que n°9
11		Banches métalliques	lisse, claire
12		Matrices revêtues d'un film	lisse à fortement structurée (selon le motif de la matrice), claire
13		Tubes de coffrage métalliques ou synthétiques	lisse, claire

Dans la figure 20 sont présentés les effets d'une autre peau de coffrage (tableau 1, cf. n^{os} 1 à 10). Ces surfaces de béton se distinguent par des différences évidentes dans les teintes.

Figure 20 : Surfaces de béton obtenues au moyen d'une peau de coffrage différente

La peau de coffrage lisse présente une tendance plus marquée à l'irrégularité de teinte, à la formation de marbrures et de voiles, ainsi qu'au bullage.



Le bullage et les variations de teintes sont moins prononcés sur une peau de coffrage (structurée (texturée)) que sur la surface d'une peau de coffrage non texturée.

Chaque élément constituant la peau du coffrage laisse inévitablement la marque de ses joints sur la surface du béton, ce qui donne à celle-ci une certaine structure, bien visible. Il faut en tenir compte lorsque l'on établit le plan de calepinage.

Quel que soit son matériau de base, une nouvelle peau de coffrage donne généralement de meilleurs résultats pour le béton de parement qu'une peau de coffrage déjà utilisée. Il est donc conseillé de définir un nombre maximal d'utilisations du coffrage. La nouvelle peau de coffrage doit être soumise à un traitement avant sa première utilisation (application d'une laitance de ciment).

L'influence du pouvoir absorbant de la peau de coffrage sur la surface du béton est présentée dans le tableau 2.

Tabl.2 : Influence du pouvoir absorbant de la peau de coffrage sur l'aspect du béton de parement

Influence de la peau de coffrage sur	absorbant	non absorbant
Teinte du béton en surface	plus foncée	plus claire
Rapport e/c en surface du béton	plus faible	plus élevé
Intensité du bullage	plus faible	plus élevée
Tendance au farinage	un peu plus élevée	plus faible
Variations dans le ton du gris	plus élevées	plus faibles
Tendance à l'accroissement de la teneur en fines	plus faible	plus élevée
Tendance à la boursouffure ou au retrait	plus élevée	plus faible

3.3 Types de coffrage

Le système de coffrage a pour fonction de porter le coffrage proprement dit. Il s'agit donc de choisir un système sur lequel on puisse dûment fixer le coffrage dont la peau a été choisie pour tel béton de parement.

Aspects du béton de parement en fonction du type de coffrage

La norme SIA 118/262 « Conditions générales pour la construction en béton » distingue, dans l'annexe B, quatre types de coffrage en fonction de l'aspect qu'ils donnent à la surface du béton :

Types 1 à 4 (Fig. 21–24) ; le coffrage de type 1 n'est pas autorisé pour les classes de surface de béton apparent CBA 1 à CBA 3 conformément à la norme SIA 118/262.

Fig. 21–24 : Surfaces de béton et surfaces de béton de parement, fabriquées avec des coffrages des types 1 à 4



Type 1 : Coffrage pour béton d'aspect ordinaire

pour les surfaces sans exigences particulières :

- aspect quelconque
- sans exigences quant à la dimension des lames ou des panneaux
- sans ébarbage ni reprise des bavures et des redents



Type 2 : Coffrage pour béton d'aspect soigné

Pour les surfaces satisfaisant aux exigences suivantes :

- aspect uniforme
- sans exigences quant à la dimension des lames ou des panneaux
- ébarbage avec reprise des bavures et des redents

Des exigences plus élevées peuvent être spécifiées comme suit :

1. Joints de bétonnage et joints de coffrage étanches



Type 3 : Coffrage pour béton de parement conservant l'empreinte des lames de coffrage

Pour les surfaces apparentes satisfaisant aux exigences suivantes :

- largeur constante des lames ; sans exigences au sujet des abouts
- direction des lames uniforme et parallèle au grand côté de la surface à coffrer
- lames rabotées

Des exigences plus élevées peuvent être spécifiées comme suit :

1. Joints de bétonnage et joints de coffrage étanches
2. Joints de coffrage décalés
3. Direction des lames uniforme et perpendiculaire au grand côté de la surface à coffrer
4. Structure selon plan détaillé des surfaces coffrées
5. Utilisation de lames non rabotées



Type 4 : Coffrage pour béton de parement conservant l'empreinte des panneaux de coffrage

Pour les surfaces apparentes satisfaisant aux exigences suivantes :

- largeur constante des panneaux ; sans exigences au sujet des abouts
- direction des panneaux uniforme et parallèle au grand côté de la surface à coffrer

Des exigences plus élevées peuvent être spécifiées comme suit :

1. Joints de bétonnage et joints de coffrage étanches
2. Joints de coffrage décalés
3. Direction des panneaux uniforme et perpendiculaire au grand côté de la surface à coffrer
4. Structure selon plan détaillé des surfaces coffrées

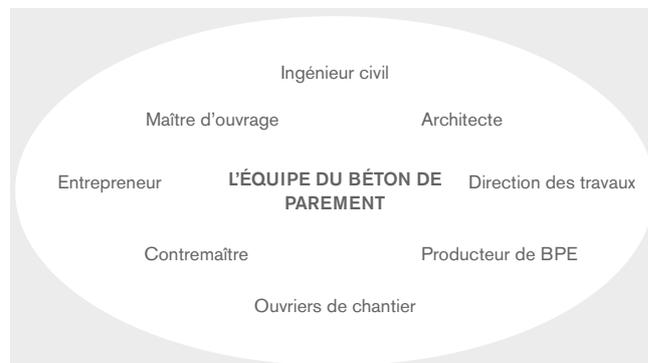
4 L'équipe du béton de parement

Pour obtenir des surfaces de béton de parement de qualité élevée à tous égards, il est indispensable d'impliquer tous les intervenants et de réaliser entre eux une entente et un flux d'information parfaits à tous les stades, de l'établissement des plans à l'exécution de l'ouvrage.

Pour cela, on aura avantage à former une « équipe du béton de parement », en veillant à ce qu'au sein de celle-ci règne l'entente et l'échange d'informations nécessaires (cf. Fig. 25). C'est ainsi seulement que l'on parviendra au mieux à éviter les malentendus, dépassements de coûts et de délais, litiges au moment de la réception de l'ouvrage et de l'évaluation quant à la qualité des surfaces de béton réalisées. Il convient de préciser si et le cas échéant, dans quelle mesure des sous-traitants doivent être inclus dans l'équipe de béton de parement.

S'il apparaît avant ou pendant l'exécution d'éléments d'ouvrage en béton de parement, en particulier pour les classes de surface de béton apparent CBA 3 et CBA S, que la procédure normale ou planifiée conduit ou pourrait conduire à un résultat insatisfaisant, l'équipe de béton de parement doit en discuter. Des résultats insatisfaisants peuvent survenir, par exemple, pour cause de bétonnages contre des contre-coffrages, de bétonnages d'éléments difficiles à compacter, et en cas de décalages, d'évidements ou d'ouvertures dans des éléments en béton de parement. Par exemple, dans le cas d'ouvertures dans les murs, il faut également préciser si le coffrage pour les ébrasures doit répondre aux mêmes exigences que le coffrage mural. La discussion doit avoir pour objectif de déterminer par écrit si des modifications doivent être apportées à l'exécution. Dans l'idéal, la décision est prise d'un commun accord. Sinon, des experts pourraient également être consultés rapidement.

Figure 25 : L'équipe du béton de parement



5 Classes de surface de béton apparent

5.1 Définition des différentes classes de surface de béton apparent (CBA)

En introduisant les classes de surface de béton apparent CBA 2 et CBA 3, ainsi que la classe spéciale CBA S (tableau 3), on parvient à décrire et à évaluer plus exactement les exigences posées aux surfaces de béton de parement, des points de vue tant architectural que technique. Les classes de surface de béton apparent (CBA) sont expliquées ci-dessous. Le paragraphe 5.2 décrit les exigences relatives aux surfaces de béton de parement coffrées.

Les exigences posées en matière de béton de parement doivent absolument être clairement définies. Pour concevoir et mettre en soumission de telles surfaces, on fera référence aux classes de surface de béton apparent définies et aux exigences posées en matière de béton de parement, décrites dans le tableau 3 ci-après.

Tabl.3 : Classes de surface de béton apparent (CBA) selon le tableau 5 de la norme SIA 118/262

Classe	Exigences esthétiques	Explication, exigences pour les surfaces apparentes
CBA 0	aucune	« Aucune exigence », aucune intention de configuration
CBA 1	modérées	« Exigences modérées », sans intention de configuration
CBA 2	normales	« Exigences normales », planification avec une configuration définie
CBA 3	élevées	« Exigences élevées », planification avec une configuration exigeante
CBA S	Selon indications de l'auteur du projet	« Classe spéciale », avec une configuration particulière/individuelle

Figure 26 : Exemples correspondant aux classes de surface de béton apparent CBA 1 à CBA 3 et CBA S

CBA 1 : exigences modérées



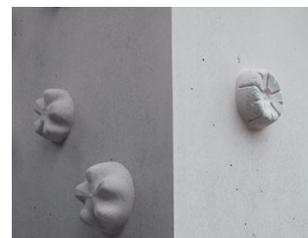
CBA 2 : exigences normales



CBA 3 : exigences élevées



CBA S : conception originale de l'aspect à donner au béton



5.2 Exigences posées aux surfaces de béton

Les tableaux 4 et 5 répertorient les exigences posées aux surfaces de béton coffrées, les différents types de coffrage et la nécessité d'éléments de référence, ainsi que la classe de surface de béton apparent à laquelle les affecter en fonction de leur pertinence.

Tabl.4 : Classes de surface de béton apparent, exigences relatives à la peau de coffrage selon le tableau 6 de la norme SIA 118/262

Exigences concernant la peau de coffrage	Classe de surface de béton apparent				
	CBA 0 ³⁾	CBA 1 ³⁾	CBA 2 ²⁾	CBA 3	CBA S
Types de coffrage selon annexe B de la norme SIA 118/262	Type 1 ¹⁾	Type 2 ¹⁾	Type 3.1 ou 4.1	Type 3.1 ou 4.1	selon accord
Qualité de la peau de coffrage	aucune exigence	aucune exigence	<ul style="list-style-type: none"> - Boursoufflures de la peau de coffrage non admises - Endommagement de la peau de coffrage par le pervibrateur non admis - Réparation dans les règles de l'art de petites éraflures (max. env. 1 mm de large et de profondeur et au maximum quelques cm de long), en petit nombre, admise 	Exigences identiques à CBA 2 et en plus : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun trou de forage, de clous et de vis - Réparation et dégâts d'éraflures pas admis 	Idem CBA 3 ou selon indications de l'auteur du projet

¹⁾ Non admis pour le béton de parement des classes de surface de béton apparent CBA 2 et CBA 3

²⁾ Le coffrage cadres n'est autorisé que sur accord

³⁾ Couleur de police grise car il ne s'agit pas de béton de parement

Le tableau suivant présente en détail les exigences relatives aux surfaces de béton restant visibles. Pour le CBA 1 avec coffrage de type 2, les exigences du tableau 5 relatives aux bavures de pâte de ciment s'appliquent sans l'exigence élevée « joints de bétonnage et joints de coffrage étanches ». Si la CBA 1 avec coffrage de type 2 avec l'exigence élevée « joints de bétonnage et joints de coffrage étanches » est commandée, il est conseillé de tolérer les bavures de pâte de ciment aux joints de bétonnage et aux joints de coffrage jusqu'à environ 5 mm de largeur et environ 2 mm de profondeur.

Tabl.5 : Exigences relatives aux surfaces de béton selon le tableau 7 de la norme SIA 118/262

Exigences	Classe de surface de béton apparent				
	CBA 0	CBA 1	CBA 2	CBA 3	CBA S
Structure ¹⁾	Texture de la surface sans exigences, avec une surface en béton essentiellement fermée	<ul style="list-style-type: none"> – Surface du béton fermée et essentiellement uniforme – Bavures de pâte de ciment aux joints admises jusqu'à 10/5 mm de largeur et env. 5/2 mm de profondeur – Joints de coffrage, décrochements et redents admis jusqu'à env. 5 mm – Empreintes de l'élément de coffrage admises 	<ul style="list-style-type: none"> – Surface du béton lisse, fermée et essentiellement uniforme – Bavures de pâte de ciment aux joints non admises – Légers décrochements techniquement inévitables, jusqu'à env. 3 mm admis – Autres exigences relatives aux joints de coffrage et empreintes d'éléments de coffrage à définir de façon détaillée 	Idem CBA 2 ; les exigences supplémentaires sont définies par l'auteur du projet dans le plan de calepinage, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> – éléments de coffrage, dimensions et structure – joints : type et disposition – joints de coffrage : disposition – arêtes : profil, largeur et tracé – trous de liaison : genre, emplacement et obturation 	Idem CBA 3 ou selon indications de l'auteur du projet
Bullage	Aucune exigence	Aucune exigence	Admis en nombre modéré ²⁾	Admis en nombre modéré ²⁾	Idem CBA 3 ou selon indications de l'auteur du projet
Teinte du béton	Aucune exigence	Variations de teintes claire/foncée (formation de voiles) admises	Teinte aussi uniforme que possible	<ul style="list-style-type: none"> – Teinte aussi uniforme que possible – Grandes zones de variations de teinte non admises – Variations minimales de teinte claire/foncée admises 	Idem CBA 3 ou selon indications de l'auteur du projet
Planéité, disposition des joints	Voir SIA 414/2	Voir SIA 414/2	Voir SIA 414/2	Idem CBA 2 ou selon indications de l'auteur du projet	Idem CBA 2 ou selon indications de l'auteur du projet
Éléments de référence ³⁾	Pas requis	Pas requis	Recommandés	Exigés	Exigés
Autres	Souillures admises en nombre limité et de faible grandeur	Taches de rouille et salissures admises en nombre limité et de faible grandeur	<ul style="list-style-type: none"> – Protection de la surface du béton contre des venues d'eau – Pas de souillures – Pas de taches de rouille 	Idem CBA 2 et des couches de remplissage du béton distinctes ainsi que des variations de teinte non admises ou selon indications de l'auteur du projet	Idem CBA 3 ou selon indications de l'auteur du projet
	Mesures de protection contre les salissures et les dommages mécaniques des éléments finis et en cours de réalisation dans le cadre des travaux de l'entrepreneur jusqu'à la réception de l'élément, y compris la protection des arêtes si nécessaire (SIA 118/262, tableau 3, ligne Béton)				

¹⁾ Parfois appelée aussi texture

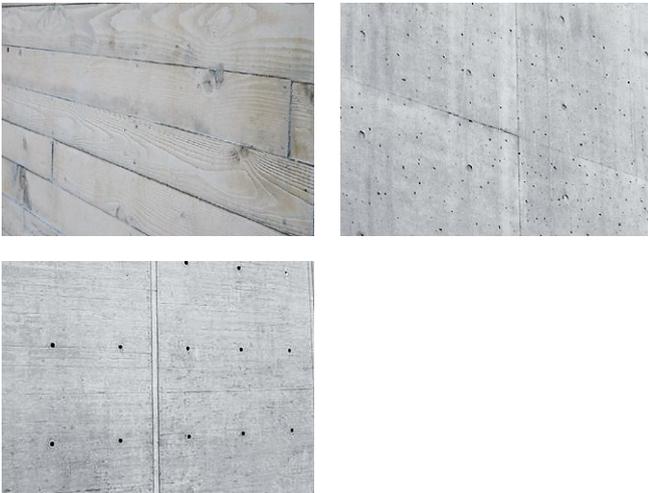
²⁾ À définir à l'aide d'un élément de référence

³⁾ L'élément de référence doit être représentatif pour tous les aspects, par ex. : la géométrie de l'élément d'ouvrage et le taux d'armature, la sorte de béton, le coffrage, la mise en œuvre, les joints

Élément de référence

L'élément de référence sert à déterminer contractuellement avec le mandant l'aspect devant être donné au béton de parement, à examiner des variantes et à fixer certains détails d'exécution en les réalisant pratiquement. Il sert d'autre part à préparer les mesures techniques que doit prendre l'entrepreneur pour pouvoir réaliser les bétons de parement demandés et à fournir une référence pour pouvoir apprécier la qualité obtenue une fois l'ouvrage construit. Des indications plus détaillées figurent au chapitre 7.2 « Éléments de référence ».

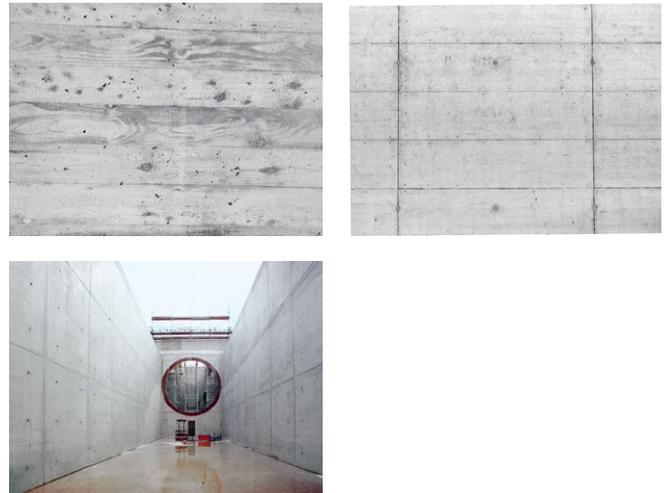
Figure 27 : Exemples de surface fermée et largement uniforme, avec des décalages, décrochements et empreintes des éléments de coffrage



Structure (texture)

La structure est marquée et influencée par des éléments intentionnels tels que des points d'attache et des éléments de coffrage, ainsi que par des éléments indésirables tels que des décrochements ou du bullage p. ex. (Fig. 27, 28). Dans la norme SIA 118/262, le terme texture est utilisé comme synonyme de structure.

Figure 28 : Exemples de surface lisse, fermée et largement uniforme, avec de modestes décrochements, ainsi que des marques de joints de coffrage et des raccords conformes au plan



Structure/plan de calepinage

La structure que le coffrage est appelé à imprimer sur la surface du béton peut être représentée sur le plan de calepinage (p. ex. Fig. 29). Dans ce document, le concepteur indiquera, en plus de ce qui y figure normalement, les caractéristiques particulières du coffrage, respectivement des surfaces du béton. On se renseignera auprès des fournisseurs sur les dimensions des coffrages propres aux systèmes qu'ils proposent. La structure doit être définie pour CBA 3 et CBA S si nécessaire. L'obturation des trous de clavettes avec des embouts en plastique est une prestation incluse conformément à SIA 118/262. Si un autre type d'obturation (p. ex. embouts en fibrociment ou acier inoxydable) est prévu, cela doit être spécifié et mis en soumission de façon détaillée.

Bullage

La formation de creux (pores ouverts) sur la surface du béton est fortement influencée par le pouvoir absorbant du coffrage et la position de ce dernier dans l'espace (Fig. 30). Les surfaces coffrées verticales présentent généralement moins de creux que les surfaces bétonnées contre des coffrages obliques ou des contre-coffrages. Sur les parois et les piliers, les creux apparaissent principalement dans la partie supérieure de l'élément. La formation de creux peut également être influencée par la composition du béton et le choix de l'agent de démoulage.

Pour les raisons suivantes, il n'est pas conseillé de déterminer par comptage la teneur en creux :

- Compter comme creux de petites parcelles d'éléments n'est généralement pas représentatif de l'ensemble de l'élément.
- D'une part, il est difficile de déterminer quels creux doivent être pris en compte (dénombrés), parce que la taille de ces creux est spécifiée par un diamètre (par exemple $\varnothing 2-15$ mm), c'est-à-dire pour des creux circulaires qui n'existent pas dans la pratique. D'autre part, des creux trop grands sont parfois exclus de la prise en compte, bien qu'ils soient particulièrement visibles.

Figure 29 : Exemple de plan de calepinage Élévation de la paroi

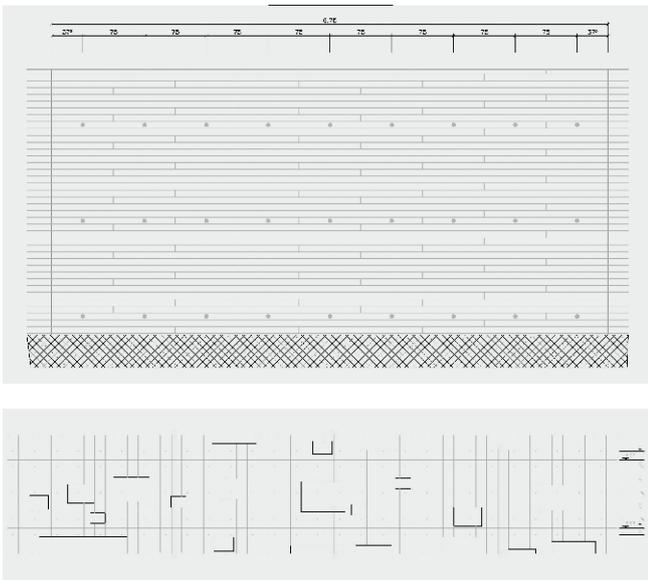


Figure 30 : Exemples d'un nombre restreint de bulles



Teinte du béton

Les exigences relatives à la teinte (Fig. 31, 32) dépendent de la classe de surface de béton apparent (Tableau 5 , page 24).

Exigences en matière de teinte : prescriptions particulières

On ne peut pas éviter complètement les différences de teintes (Fig. 31 et 32). Pour les classes de surface de béton apparent CBA 2, CBA 3 et CBA S, il est fortement recommandé, voire obligatoire de spécifier ce point avec des éléments de référence. Les différences de teintes peuvent avoir de multiples causes telles que :

Coffrage

- pouvoir absorbant
- nombre d'utilisations
- agent de démoulage

Béton

- composition
- compactage
- cure

Conditions environnementales

- température de l'air
- humidité de l'air

Figure 31 : Exemples de surface lisse et fermée avec variation de la teinte claire/foncée

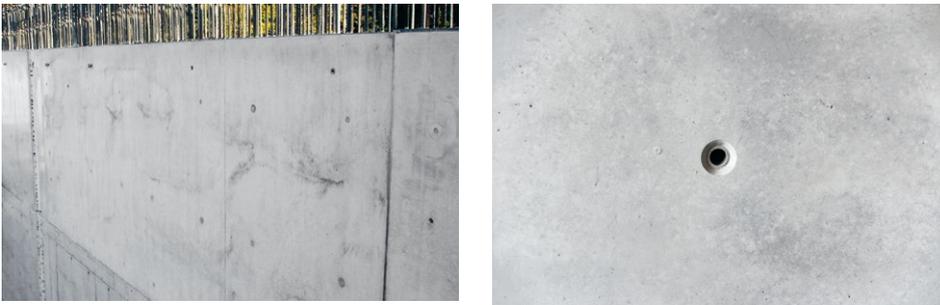


Figure 32 : Exemple de surface lisse et fermée avec une teinte uniforme, p.ex. pour CBA 2 (à gauche) ; différences de teinte habituelles pour les panneaux OSB, p.ex. pour CBA S (à droite)

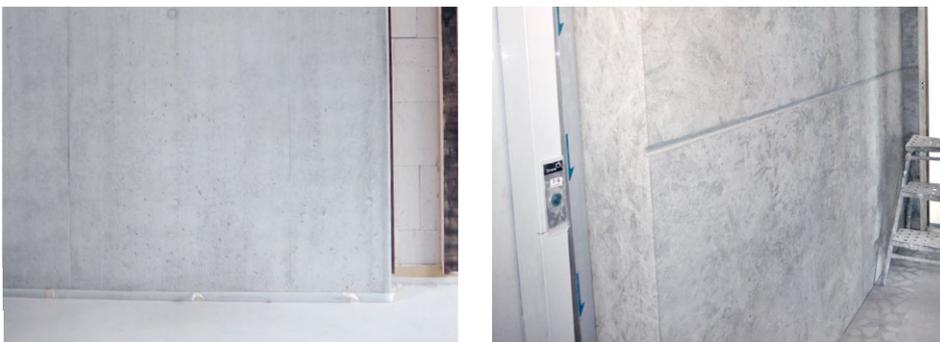
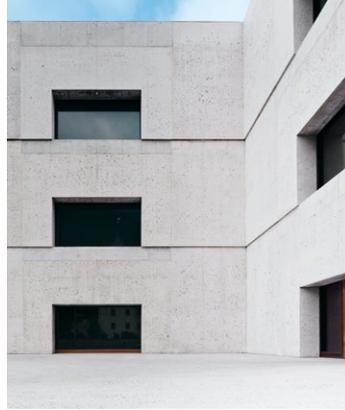


Figure 33 : Exemples de teinte relativement uniforme

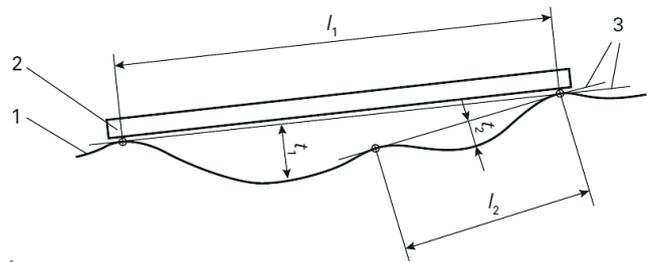


Planéité

La planéité est déterminée par des mesures ponctuelles, p. ex. par échantillonnage (cf. schéma Fig. 34). Les exigences de planéité sont présentées dans le tableau 6. Ledit tableau ne concerne ni les matériaux de construction, ni les simples éléments terminés ou semi-ouvrés, et pas non plus les dimensions à l'intérieur d'une partie d'ouvrage. Le tableau ne tient pas compte des déformations sous l'effet du temps, de la charge, de la température et de l'humidité.

Figure 34 : Représentation graphique de la mesure de planéité selon SIA 414/2 (Distance entre deux points de contact de la règle = distance à mesurer)

Les valeurs mesurées f_1 et f_2 doivent être comparées aux valeurs du tableau 6.



- 1 : Forme effective de la surface
- 2 : Règle
- 3 : Direction de déplacement de la règle

l_1, l_2 : Distance entre 2 points de contact de la règle
 f_1, f_2 : Valeurs mesurées

Tabl. 6 : Écarts en matière de planéité tolérés pour les surfaces finies de parois et de faces inférieures de dalles, p. ex. béton de parement ; selon la ligne 5 du tableau 3 de la norme SIA 414/2

Distance à mesurer (libre) [m]	≤0,4	≤1,0	≤2,0	≤4,0
Valeur mesurée maximale [mm]	4	: 6	: 8	: 12

Figure 35 : Exemples de bâtiments en béton de parement répondant à des exigences élevées en matière de planéité



Figure 36 : Mesure de la planéité avec un coin de mesure ; valeurs mesurées d'env. 18 mm (à gauche) et d'env. 14 mm (à droite)



Joint

Par joints, on entend les joints horizontaux et verticaux de la peau de coffrage ainsi que les joints de reprise. La norme SIA 118/262 fait la distinction entre les exigences normales et les exigences élevées pour les types de coffrage 2, 3 et 4 (Fig. 21-24, page 20). Le paragraphe 5.2 contient pour les types 2 et 2.1 des recommandations sur les différentes exigences relatives aux joints de bétonnage et aux joints de coffrage (étanches ou non étanches) pour la surface en béton CBA 1. Pour les surfaces en béton des classes 2 et 3, contrairement à la norme SIA 118/262, les coffrages de type 3.1 ou 4.1 avec l'exigence élevée « joints de bétonnage et joints de coffrage étanches » doivent toujours être utilisés (tableau 4).

Les joints de reprise peuvent être « cachés » avec des bandes triangulaires et également adoptés comme élément de design (Fig. 42, haut). Il convient de noter que le type d'armature est ajusté en conséquence pour garantir un enrobage suffisant des armatures (Fig. 42, bas).

Les illustrations suivantes (Fig. 37–40) donnent des exemples de différents joints. Les arêtes vives tout particulièrement doivent être protégées contre les risques d'endommagement (p. ex. éclatement (Fig. 41)).

Figure 37 : Exemple de joint étanche (pas de bavure de mortier fin)



Figure 38 : Exemple de joints sur un coffrage composé de panneaux



Figure 39 : Exemple de joints de peau de coffrage réguliers sur le plafond et la paroi ; bavures de mortier au joint de reprise entre ces deux éléments



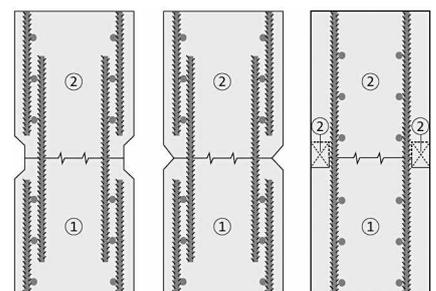
Figure 40 : Exemple de joint de reprise sur une paroi



Figure 41 : Protection des arêtes (vives) d'un pilier



Figure 42 : Exemple de joints horizontaux



1 : Première étape de bétonnage
2 : Deuxième étape de bétonnage

6 Le projet

6.1 Généralités

Le concepteur doit indiquer clairement l'objectif fixé, c'est-à-dire quel type de béton de parement est à réaliser et quel aspect ce matériau devra présenter. Cela implique qu'il apporte toute précision nécessaire sur les différents éléments contribuant à cet aspect, à savoir notamment : la texture/structure, la disposition des différentes surfaces, la teinte, la planéité, les joints, le type de coffrage, etc. ; il indiquera également la classe de surface de béton apparent et les exigences qu'il devra remplir y compris les marges de tolérance. Il incombe au concepteur de fournir à cet égard des indications suffisamment détaillées, complétées, le cas échéant, par des dessins (plan de calepinage, disposition des tiges de coffrage, aspect des joints, etc.).

Pour que l'entrepreneur ne soit pas trop limité dans le choix du processus et des matériaux et de construction, de même que dans son aspiration à innover, les exigences techniques devraient être fixées le cas échéant par le concepteur de concert avec l'entrepreneur. Ce faisant, on tiendra compte des points suivants :

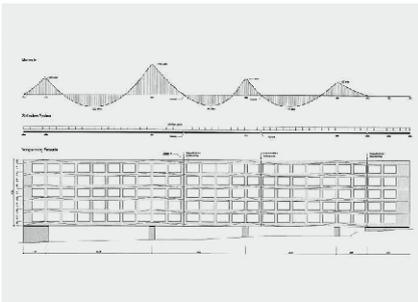
- Déterminer les exigences, p. ex. avec CBA
- Déterminer des éléments de référence
- Établir le programme des essais préliminaires
- Appliquer le principe de la vérité des prix envers le maître d'ouvrage

Pour les ouvrages en béton de parement, il est important de mettre au point un système d'assurance qualité « PAQ béton de parement » qui régit les points suivants :

- les compétences
- le mode opératoire de tous les intervenants (p. ex. la préparation des coffrages, le stockage de leurs éléments sur le chantier, etc.)
- les contrôles d'un certain nombre de prestations et produits (p. ex. le montage des coffrages et la pose des armatures, la mise en place du béton, la qualité de celui-ci, le respect des délais de décoffrage prescrits, la cure, le respect des tolérances dans l'ouvrage, les étayages provisoires, les installations techniques, les éléments préfabriqués, la protection des surfaces de béton de parement déjà construites, etc.)
- le contrôle et la réception des différentes réalisations (p. ex. l'enrobage des armatures, l'étanchéité des joints, la rigidité des coffrages, la propreté de la peau de coffrage immédiatement avant le bétonnage, la mise en place des incorporés et l'exécution des réservations, les rapports d'essais [remise et contenu], etc.)
- l'établissement et conservation des documents

La mise en soumission d'ouvrages ou de parties d'ouvrage en béton de parement est une tâche importante du concepteur et sera traitée séparément ci-après dans le chapitre 7 « Mise en soumission ». Dans les annexes A, B et C on trouvera des informations supplémentaires et des conseils propres à faciliter la réalisation de surfaces de béton de parement.

Figure 43 : Planification (à gauche) – Exécution (au centre) – Résultat (à droite)



6.2 Convention d'utilisation

L'usage auquel doit répondre une construction en béton de parement doit être mentionné dans la convention d'utilisation, dont la rédaction incombe au maître d'ouvrage et au concepteur, agissant de concert. Les notes relatives à la convention d'utilisation doivent découler des normes SIA 260 et SIA 262. Les modifications et ajouts doivent être mis à jour par le concepteur dans la convention d'utilisation.

6.3 Possibilité de réalisation

Au cours de la phase de planification, le concepteur précise dans quelle mesure les propriétés ou les exigences relatives à la surface de béton de parement sont nécessaires ou éventuellement difficiles à réaliser :

- Prévention, réduction des efflorescences de chaux
- Aspect à donner aux joints de reprise et de coffrage, arêtes et points d'attache
- Traitement préalable, fréquence d'utilisation du coffrage
- Mesures d'ordre cosmétique pour améliorer l'aspect de la surface (réparations au mortier, lasure, surfaces d'essai, etc.)
- Appuis sur surfaces de béton de parement (fraîches)
- Forme et dimension des parties en béton de parement (p. ex. il doit être possible de mettre en place et de compacter le béton dans les règles de l'art, également en présence d'armatures et d'incorporés ou de prises électriques, en tenant compte des dimensions et des écarts minimaux selon SIA 262)
- Programme de bétonnage (étapes, accès pour la mise en place etc., voir aussi le chapitre 8 « Exécution »)
- Possibilité de réalisation et protection des arêtes et des angles aigus (coffrage et types de béton appropriés)
- Enrobage suffisant des armatures après traitement de surface du béton durci (p. ex. ponçage, nervurage, etc.)
- Conséquences des interruptions dues aux intempéries, mesures de protection

Pour cela, il est utile de recourir d'emblée à la collaboration d'un entrepreneur, voire d'un expert en béton de parement.

6.4 Prévention des défauts du béton au stade de la conception de l'ouvrage

La qualité et/ou l'esthétique d'un ouvrage en béton de parement dépendent de différents facteurs qui relèvent de la technique du béton et du coffrage, ou encore des conditions météorologiques. Pour réduire à un minimum les risques de défauts, le concepteur d'un ouvrage en béton de parement doit encore, de son côté, veiller, dès le début de sa prestation, à réduire les risques de défauts susceptibles d'apparaître à l'exécution de l'ouvrage. Il est important que le concepteur prenne conscience des points suivants dès la phase de planification et qu'il en tienne compte d'emblée pour les surfaces de béton de parement en fonction de la classe de surface de béton apparent :

Informations générales

- Les variations de teinte et les décolorations ne peuvent être complètement exclues même si toutes les conditions cadres sont prises en compte.
- Un coffrage qui tend à absorber beaucoup d'eau ou favorise l'évaporation doit faire l'objet d'un traitement préalable (p. ex. application d'une laitance de ciment), afin qu'il ne soutire pas trop d'eau du béton.
- Il faut veiller à la propreté des coffrages et à manipuler ceux-ci de telle sorte que la qualité prescrite quant à la surface du béton puisse effectivement être atteinte.
- L'incorporation de dispositifs pour assurer la solidité du coffrage, de même que la présence de barres d'ancrage, de gaines pour conduites, etc. qui restent dans le béton, doivent être assurées de telle sorte que ces éléments ne portent pas esthétiquement préjudice au béton en surface.
- Si des exigences quant à l'aspect des surfaces coffrées ont été fixées, elles doivent être indiquées par le concepteur dans la documentation technique (rapport technique, plan de calepinage, etc.) ou dans des directives spéciales, p. ex. sous « Conditions particulières ».
- Qualité de la peau de coffrage : l'autorisation des trous de clouage ou de vissage, éraflures, restes de béton adhérents, voiles de ciments, dommages dus au vibreur, boursouffures de la peau de coffrage (rippings) et traces de réparations est définie selon la CBA prescrite et doit, le cas échéant, être prise en compte de manière plus détaillée (cf. le chapitre 5.2).
- L'utilisation d'agents de démoulage ne doit pas avoir d'effet indésirable sur la teinte ou l'aspect du béton en surface après l'achèvement de l'ouvrage, même en cas d'application ultérieure d'un enduit.
- Les points d'ancrage, l'obturation des trous d'ancrage, la configuration des points de fixation doivent être déterminés avec l'accord du mandant.
- Des cales appropriées (type et forme) doivent être spécifiées.
- Le choix du système de coffrage (coffrage cadres, coffrage panneaux avec poutrelles), ainsi que la fixation de la peau de coffrage, sont l'affaire de l'exécutant, toutefois dans le respect de la mise en soumission (cf. p. ex. aussi le tableau 4).

Dimensionnement des éléments à construire

On déterminera la dimension des éléments à construire en tenant compte de la quantité et du type d'armatures, ainsi que des caractéristiques du béton. Les armatures doivent être disposées de telle sorte que le béton frais puisse être mis en place et compacté sans la moindre entrave.

Coffrages et étaillages

Les coffrages et étaillages seront déterminés et construits selon les règles figurant dans les normes ad hoc. Ils doivent résister à toutes les charges liées aux travaux du chantier et en particulier aux bétonnages.

Les éventuels changements dans la forme des coffrages et des étaillages doivent, si nécessaire, être compensés. C'est au concepteur qu'il appartient de déterminer les déformations tolérées.

Il incombe au concepteur de contrôler, avant le début du bétonnage, la conformité du coffrage et des étaillages avec le cahier des charges.

Enrobage des armatures dans le béton de parement

L'apparition de traces de rouille à la surface des bétons de parement porte non seulement préjudice à l'esthétique de l'ouvrage, mais elles sont aussi éventuellement l'indice que la sécurité, l'aptitude à l'emploi et la durabilité de la construction sont menacées.

L'enrobage des armatures a notamment pour fonction d'assurer la transmission des efforts entre le béton et l'armature ; l'espace en cause permet une bonne mise en place du béton frais et la couche de béton qu'il comporte assure une protection contre le feu et la corrosion des fers. Son épaisseur est déterminante à cet égard. Les valeurs à respecter à ce titre c_{nom} dépendent de la classe d'exposition de l'ouvrage d'après SIA 262 (cf. tableau 7).

Lors de la conception d'un ouvrage en béton de parement, on portera une attention particulière à l'enrobage des armatures, en tenant notamment compte des points suivants :

- L'épaisseur d'enrobage prescrite (c_{nom}) y compris la marge de tolérance, doit être indiquée sur les plans ; les écarts tolérés sont répertoriés dans l'annexe de la norme SIA 262 (cf. tableau 7).
- Éléments d'ouvrage en béton de parement exposés aux intempéries : en règle générale, il faut respecter, pour ces parties, au moins les exigences de la classe d'exposition XC4 (CH).
- Éléments d'ouvrage en béton de parement dans les bâtiments : en règle générale, il faut respecter, pour ces parties, au moins les exigences de la classe d'exposition XC1 (CH).
- Surfaces traitées après durcissement ou structurées (éléments d'ouvrage situés à l'intérieur) : pour ces surfaces (cf. chapitre 3.1. « Généralités »), on déduira la profondeur de l'intervention en cause pour déterminer la valeur c_{nom} relative à l'enrobage des armatures. Il faut aussi tenir compte du fait que le béton restant peut être endommagé par l'intervention au moins dans les millimètres supérieurs.

Installations, insertions dans l'élément

Dans le descriptif des prestations et lors des réunions de chantier avec l'appui de la Direction des travaux, le concepteur doit attirer l'attention des entrepreneurs concernés sur les exigences particulières de leurs travaux. Cela peut concerner, par exemple, l'insertion et la fixation de tuyaux, de câbles dans des éléments en béton de parement ou la fixation de prises électriques sur le coffrage pour béton de parement.

Tabl. 7 : Enrobage des armatures à déterminer dans les plans en fonction de la classe d'exposition

Enrobage de l'armature c_{nom} (avec tolérances) [mm]	Classe d'exposition selon SN EN 206							
	Corrosion de l'armature dans le béton carbonaté				Corrosion induite par les chlorures			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
Acier d'armature passive	20 (+10/0)	35 (+10/-10)	40 (+10/-10)	40 (+10/-10)	40 (+10/-10)	55 (+10/-10)		
Acier de précontrainte ou unité de précontrainte	30 (+10/-10)	45 (+10/-10)	50 (+10/-10)	50 (+10/-10)	50 (+10/-10)	65 (+10/-10)		

Cales (distanceurs, taquets)

Si l'on utilise des cales pour construire un élément en béton de parement, leur impact sur le coffrage doit être aussi réduit que possible. Elles ne doivent pas ou ne doivent que dans une mesure minimale marquer le coffrage, c'est-à-dire la surface du béton.

L'équipe du béton de parement devra se mettre d'accord sur le type de cales à utiliser, en tenant compte des exigences posées (résistance au gel et aux sels de déverglaçage, éléments exposés à de fortes variations de température, faible porosité, résistance élevée aux attaques chimiques).

- Il convient de vérifier si les cales conviennent pour l'élément de référence.
- Les cales se distinguent par leur forme, leur dimension, leur matière, leur domaine d'utilisation, leur mode de fixation et leurs caractéristiques avant et après le bétonnage (Fig. 44, 45).
- Pour chaque cas d'utilisation, il importe de se procurer un nombre suffisant de cales adéquates et de les fixer de telle sorte qu'elles ne puissent ni se déplacer ni se tordre ; il faut également veiller à ce que, pendant toute la durée des travaux, elles ne puissent pas se déformer de manière significative, que ce soit sous l'effet de charges ou de températures variables.
- Inévitablement, les cales portent atteinte à l'homogénéité de l'enrobage des armatures mais il faut veiller à ce qu'elles n'affectent pas de manière significative l'étanchéité de ce béton.
- Les cales à base de ciment sont moins exposées à la déformation sous l'effet des charges et variations de température que les cales en matière synthétique ; elles affectent aussi moins l'esthétique de la surface du béton.

Les cales doivent :

- présenter une résistance suffisante à la pression et à la torsion,
- avoir un effet ressort aussi minime que possible, afin qu'après le décoffrage, la couche de béton proche de la surface ne s'écaille pas,
- avoir une structure leur permettant d'être intégralement enrobées par le béton et évitant que celui-ci ne subisse une ségrégation à proximité de la cale,
- être suffisamment résistantes à l'alcalinité du béton,
- être fabriquées dans une matière qui ne favorise pas la corrosion des armatures et ne soit pas elle-même exposée à la corrosion,
- et être de la même couleur que le béton à mettre en place.

Figure 44 : Cales convenant en général au béton de parement

Forme circulaire	
Cale à poser	
Cale à fixer	

Figure 45 : Cales ne convenant en général pas au béton de parement

Cale linéaire à poser ¹⁾	
Cale linéaire à fixer ¹⁾	
Cale à surface géométrique, à poser	
Cale à surface géométrique, à fixer	

¹⁾ Longueur maximale (350 mm resp. $\leq 2 \times$ épaisseur de la partie d'ouvrage ou $\leq 0,25 \times$ largeur de celle-ci)

Protection de la surface du béton de parement

Pendant la construction, l'aspect d'un béton de parement risque d'être affecté par l'action d'une humidité particulièrement élevée, par des taches voire des concrétions de rouille provenant des fers en attente. Après l'achèvement de l'ouvrage, il peut être affecté par des atteintes extérieures telles que des facteurs environnementaux (humidité, suie, poussières, mousses et algues) ou des salissures (fientes d'oiseaux, urine), ainsi que des bariolages et des graffitis.

– Protection des surfaces de béton de parement durant la construction

Les entrepreneurs doivent tenir compte du fait que l'armature avant une étape de bétonnage, voire les fers en attente, s'oxyde parce qu'elle est exposée à l'humidité, voire aux intempéries, ce qui peut engendrer des taches (dalles) ou des coulures (parois, piliers) de rouille. De plus, il est indispensable de protéger les surfaces de béton de parement et les arêtes des chocs et autres dommages : graffitis, percements inappropriés, etc.

Il incombe à l'entrepreneur de prévoir conformément aux exigences de CBA, les mesures à prendre pour assurer la protection des surfaces de béton de parement et des arêtes ; il en fera de même pour la protection des fers d'armature, au moyen de laitance de ciment.

– Protection des surfaces de béton de parement après l'achèvement de la partie d'ouvrage en cause, voire de l'ensemble de l'ouvrage.

En principe il appartient au concepteur, d'entente avec le maître d'ouvrage, de déterminer s'il y a lieu de protéger la surface du béton de parement au moyen d'un enduit et, si oui, quelle doit être la nature de celui-ci. Cela doit être précisé dans la convention d'utilisation de l'ouvrage.

– Si un système de protection de surface est exigé, il incombe au concepteur, déjà lorsqu'il établit les plans, de prendre en compte et de préciser les points suivants :

– Indiquer quel système doit être appliqué (p. ex. imprégnation [hydrofuge], glacis, enduit [protection anti-graffiti], etc.),

en recourant à un spécialiste de la protection des surfaces, car il existe sur le marché de nombreux produits de protection de surface, aux effets divers et/ou à une durée d'action différente.

- Préciser s'il s'agit de conserver, malgré le vieillissement, la qualité technique, c'est-à-dire la valeur du béton, ou plutôt la qualité visuelle du matériau, par un système de protection de la surface mettant en valeur l'aspect minéral propre du béton de parement (ennoblissement de la surface au moyen d'un glacis incolore ou au contraire pigmenté).

Fissuration

Sur le béton de parement, les fissures sont en principe indésirables. Sur des surfaces monolithiques, elles sont pratiquement inévitables mais elles ne sont en principe pas dommageables. Normalement, si elles ne s'accompagnent pas de salissures, de colorations indésirables ou d'efflorescences, elles ne causent qu'un préjudice insignifiant à la perception optique que l'on a d'une surface de béton de parement. Elles sont en général plus perceptibles sur une surface lisse que sur une surface structurée.

En matière de fissuration, la norme SIA 262 distingue les exigences normales, accrues et élevées.

Pour les surfaces de béton de parement, le tableau 8 contient des recommandations concernant les exigences relatives à la fissuration. Dans le cas d'exigences accrues ou élevées, l'ouverture nominale des fissures calculée est d'environ 0,5 ou 0,2 mm (SIA 262). L'ouverture réelle de fissure correspond en moyenne à peu près à ces valeurs.

Tabl.8 : Exigences recommandées pour la fissuration selon la norme SIA 262 pour les surfaces de béton de parement

Classe de béton de parement	Exigences en matière de fissuration selon la norme SIA 262	Commentaires
CBA 1	normales	Exigences normales en matière d'aspect quant aux fissures et à la répartition de celles-ci
CBA 2	accrues	Exigences accrues en matière d'aspect quant aux fissures et à la répartition de celles-ci
CBA 3	élevées	Exigences élevées en matière d'aspect quant aux fissures, à leur répartition et à leur ouverture
CBA S	accrues ou élevées	Exigences accrues ou élevées en matière d'aspect quant aux fissures, à leur répartition et à leur ouverture

Efflorescences, dépôts de chaux

Les efflorescences dues à la chaux sur les surfaces de béton se produisent lorsque l'eau contenue dans le béton s'évapore sur la surface du béton. Les efflorescences sont souvent de teinte claire, mais parfois aussi foncée. Plus un béton peut sécher longtemps avant son premier contact avec de l'eau sous forme liquide, moins il y a d'efflorescences. C'est la raison pour laquelle on observe une augmentation des efflorescences pendant la période plus fraîche et plus humide de l'année. Les efflorescences sont plus fréquentes en cas de fissures. Les efflorescences de chaux peuvent être réduites, mais non empêchées par hydrophobisation de masse (pendant la production de béton) et/ou hydrophobisation de surface. Plus les fissures sont grandes, moins une hydrophobisation empêche les efflorescences.

En ce qui concerne la fissuration pouvant affecter les bétons de parement, le concepteur doit tenir compte des points suivants :

- Les exigences normales de la norme SIA 262 ne sont pas suffisantes pour CBA 2 et CBA 3.
- Pour les classes de surface de béton apparent CBA 1 à CBA 3, le concepteur doit définir avec le maître d'ouvrage, dans la convention d'utilisation de l'ouvrage et dans les autres documents servant de base au projet, les exigences posées en matière de fissuration, et s'en tenir à celles-ci.
- Pour la classe de béton de parement CBA S, il incombe au concepteur, de concert avec le maître d'ouvrage et sur la base des exigences posées, de déterminer les exigences concernant la fissuration (habituellement accrues ou élevées) ; la convention d'utilisation de l'ouvrage et les autres documents servant de base au projet mentionneront cette décision, qui liera le concepteur.
- La largeur des fissures doit être suffisamment modeste pour que celles-ci n'apparaissent pas comme dommageables. En cas d'exigences spéciales, p. ex. si les constructions en béton doivent être étanches, la largeur tolérée des fissures doit être fixée de concert avec un spécialiste.

- Les mesures à prendre pour limiter la fissuration dans le béton de parement sont indiquées dans la norme SIA 262 ch. 4.4.2.3 ; elles devront être fixées dans la convention d'utilisation de l'ouvrage et les autres documents servant de base au projet, en tenant compte des causes de la fissuration, telles que la conception de la structure porteuse, la transposition de cette conception dans l'architecture de l'ouvrage, les propriétés du béton en cause et la cure de celui-ci.
- Avec le maître d'ouvrage, il convient de préciser dans la convention d'utilisation comment traiter les fissures qui ne sont pas conformes aux exigences. On informera le maître d'ouvrage que des fissures colmatées, même avec soin, restent visibles sur du béton de parement. Si une réparation est prévue, elle doit être testée sur des surfaces d'essai.
- De plus, il est important que le concepteur et l'exécutant se mettent d'accord très tôt sur le meilleur moyen d'éviter une fissuration excessive et de remplir les conditions cadres fixées dans la convention d'utilisation de l'ouvrage.

Cure du béton

La durée de la cure doit être fixée en fonction du développement des résistances en surface du béton ou sinon, conformément à la norme SIA 262. La norme SIA 262 décrit les classes de cure NBK 1 à 4 (cf. p. ex. tableau 9) ; celles-ci sont définies selon le pourcentage de la résistance caractéristique à 28 jours atteinte en surface du béton à la fin de la cure.

L'évolution de la résistance du béton peut être déterminée plus précisément par des mesures ou des calculs in situ effectués par le concepteur conformément à la norme SIA 262.

En l'absence de résultats précis pour le béton utilisé ou d'estimations et de calculs fiables quant à l'évolution de la résistance, ainsi que d'essais correspondants effectués pendant l'exécution de l'ouvrage, la durée minimale de la cure se basera sur les valeurs données dans les tableaux 10 et 11. Si l'évolution de la résistance du béton se révèle particulièrement lente, il faudrait poser des exigences spéciales dans la description du projet.

Tabl. 9 : Définition et utilisation des classes de cure (NBK) selon le Tabl. 22 de SIA 262

Classe de cure (NBK)	1	2	3	4
Durée (en heures)	12 ¹⁾	–	–	–
Pourcentage de résistance caractéristique à 28 jours	–	35 %	50 %	70 %
Exigences		normales	accrues	élevées

¹⁾ Tant que la prise du béton ne dure pas plus de 5 heures et que la température du béton à la surface est de min. 5 °C.

Cure du béton de parement

En présence de béton de parement, on portera une attention particulière à la cure qui, pour ce matériau, doit s'effectuer sans porter préjudice à l'esthétique.

À des températures ambiantes comprises entre environ 5 et 30 °C, il est recommandé de couvrir le béton de parement avec une feuille (sans courant d'air), en veillant à ce qu'aucune eau de condensation venant de la feuille n'atteigne la surface du béton.

À des températures ambiantes plus froides, il faut prévoir une cure appropriée (« mesures de construction hivernales »).

Durée minimale de la cure du béton de parement

Il conviendra de choisir la classe de cure appropriée à chaque ouvrage de béton de parement.

Pour les ouvrages supportant de lourdes charges tels que murs de soutènement, galeries, etc. des classes d'exposition XD3, voire XF4, ce sont des exigences élevées (NBK 4) qui sont posées. Pour les types de béton B à G selon SN EN 206 et pour les exigences accrues et élevées en matière de cure, le tableau 11 s'applique.

Tabl. 10 : Valeurs indicatives pour la durée minimale de la cure de NBK 2 à 4 selon le Tabl. 23 de SIA 262

L'évolution de la résistance du béton sera décrite par la valeur r (rapport de la résistance moyenne respectivement à 2 et à 28 jours : $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$)

Évolution de la résistance du béton à 20 °C selon SN EN 206 ^{2), 3)}		Durée minimale de la cure [jours] ^{1), 2)}								
		rapide			moyenne			lente		
		$r \geq 0,50$			$0,50 > r \geq 0,30$			$0,30 > r \geq 0,15$		
Classe de cure (NBK) [pourcentage de la résistance de $f_{ck,28}$]		2 [35]	3 [50]	4 [70]	2 [35]	3 [50]	4 [70]	2 [35]	3 [50]	4 [70]
Température de la surface du béton [°C] ³⁾	$T \geq 25$	1,0	1,5	3,0	1,5	2,5	5,0	2,5	3,5	6,0
	$25 > T \geq 15$	1,0	2,0	5,0	2,5	4,0	9,0	5,0	7,0	12,0
	$15 > T \geq 10$	1,5	2,5	7,0	4,0	7,0	13,0	8,0	12,0	21,0
	$10 > T \geq 5$ ²⁾	2,0	3,5	9,0	5,0	9,0	18,0	11,0	18,0	30,0

Tabl. 11 : Valeurs indicatives pour la durée minimale de la cure¹⁾ quant aux exigences accrues (NBK 3) ou élevées (NBK 4) en matière de cure avec une évolution de la résistance moyenne ou rapide du béton selon le Tabl. 23a de SIA 262

Sortes de béton selon SN EN 206	Exigences selon 6.4.6.7 de SIA 262	Durée minimale de la cure [jours] en fonction de la température de la surface T du béton ³⁾ [°C]		
		$T \geq 15$	$10 \leq T < 15$	$5 \leq T < 10$ ²⁾
B et C	accrues	3	5	7
B et C, D à G	élevées	5	7	9

Les notes de bas de page suivantes s'appliquent aux Tabl. 10 et 11 :

¹⁾ Pour une durée d'ouvrabilité (période de temps durant laquelle le béton est compacté avec les appareils prévus sur le chantier) de plus de 5 h, la durée de la cure doit être prolongée de façon adéquate.

²⁾ Pour des températures < 5 °C, la durée de la cure doit être prolongée du temps durant lequel la température est restée < 5 °C.

³⁾ Au lieu de mesurer la température à la surface du béton, il est aussi possible de mesurer la température de l'air le matin vers 7 h, à l'ombre.

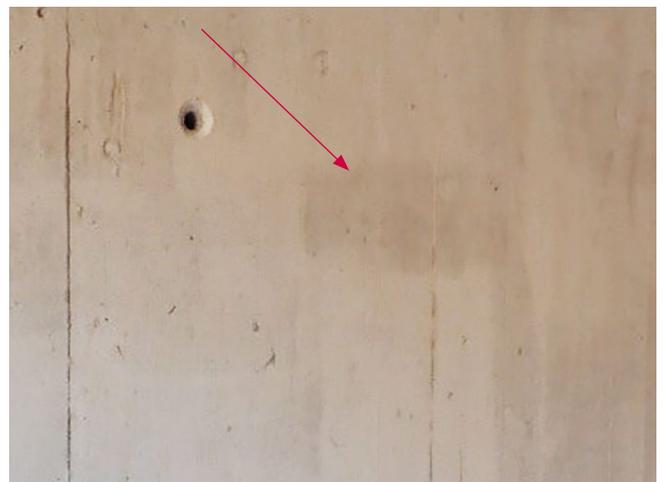
Le concepteur tiendra compte des points suivants en établissant le programme la cure d'un béton de parement :

- Il faut en principe respecter les prescriptions de la norme SIA 262, ch. 6.4.6. Il incombe au concepteur de définir et de consigner la classe et la nature de la cure. L'entrepreneur doit noter que la durée de la cure dépend des conditions météorologiques (température, humidité, vent), de l'évolution de la résistance du béton de parement et éventuellement de la géométrie des éléments de béton de parement.
 - Dans la mesure où des prescriptions plus spéciales relatives à la cure du béton de parement font défaut dans le descriptif des prestations et où la convention d'utilisation de l'ouvrage ne contient pas de telles prescriptions, la cure doit être déterminée par l'équipe du béton de parement.
 - La tâche la plus importante du concepteur lors de l'établissement des plans, c'est le programme de réalisation de l'ouvrage en béton de parement ou d'une partie de celui-ci dans les temps, de sorte que les durées de cure prescrites soient respectées, compte tenu des possibles influences extérieures (température, humidité, vent), des étapes du bétonnage et de la réalisation de l'ensemble (bétonnage, décoffrage, en prenant en compte les délais, y compris l'incidence des week-ends, etc.).
 - Le délai de décoffrage et les mesures de cures spéciale, les interventions à effectuer après le décoffrage, les dispositifs destinés à protéger le béton contre l'évaporation, ainsi que la protection des surfaces de béton durant la suite des travaux (p. ex. habillages bois) doivent également être prescrits par le concepteur dans le cahier des charges. Les contrôles correspondants sur le chantier doivent être prévus.
 - Les exigences de la CBA respective s'appliquent même en l'absence d'autres spécifications dans le cahier des charges.
 - Aucun élément en béton de parement ne doit être décoffré avant que celui-ci n'ait suffisamment durci ; cela vaut aussi pour les angles et les arêtes, afin d'éviter entre autres des épaufrures.
- Si le béton reste trop longtemps dans le coffrage, une décoloration de la surface risque de se produire. Si le délai de décoffrage est court, le béton de parement sera plus régulier et plus clair. Néanmoins, une cure professionnelle et régulière doit être effectuée afin d'obtenir une qualité de béton suffisante (notamment une protection anticorrosion de l'armature).
 - Après son décoffrage, le béton de parement ne doit être ni exposé à de fortes précipitations ni rincé à l'eau (risque d'efflorescences, voire de concrétions de chaux), ni mis en aucune manière en contact avec des ruissellements d'eau.
 - La meilleure manière de protéger un béton de parement qui vient d'être décoffré, c'est de le couvrir, voire de l'envelopper, au moyen d'une feuille plastique, tout en évitant le contact direct de celle-ci avec le matériau encore jeune, afin de prévenir une condensation affectant la surface du béton et l'apparition de taches sur le béton. Le ruissellement d'eau de condensation doit également être évité à tout prix car cela risque d'avoir un effet négatif sur le plan esthétique. Aussi est-il recommandé de ménager une fente pour permettre un échange d'air avec l'extérieur et éviter toute condensation (attention : ne pas aller jusqu'à créer un effet de cheminée, c'est-à-dire un véritable courant d'air). On prévoira dans le cahier des charges la construction d'un dispositif protégeant l'ouvrage contre l'évaporation par une feuille plastique placée à quelques centimètres de la surface du béton de parement, ainsi que le contrôle régulier, voire la maintenance de ce dispositif, afin de s'assurer qu'elle est bien protégée contre les influences extérieures (activités sur le chantier, conditions météorologiques).
 - Après la cure, il peut s'avérer nécessaire de mettre en place une protection contre les salissures (Fig. 46).
 - Si des appuis sur des surfaces de béton de parement sont inévitables, ils doivent être déplacés tous les jours ou tous les deux ou trois jours pour ne laisser pratiquement aucune trace (Fig. 47). Cette prestation doit être demandée dans la mise en soumission.

Figure 46 : Protection du béton de parement contre les salissures à l'aide d'une feuille plastique



Figure 47 : Empreinte d'un appui



6.5 Management de l'assurance qualité relative au projet (PAQ)

Ce n'est que par la collaboration de tous les intervenants intéressés à la réalisation d'une surface en béton de parement qu'il sera possible d'atteindre le niveau de qualité fixé contractuellement. Plus tôt ceux-ci prendront en compte, ensemble, tous les aspects techniques et contractuels du projet, mieux ils parviendront à écarter les points faibles et à éviter les défauts. Pour obtenir cela, il importe :

- d'assurer, entre tous les intervenants, une bonne circulation de l'information et une coordination appropriée des divers travaux du chantier
- de confier la réalisation des bétons de parement à des personnes et entreprises qualifiées et conscientes de leur responsabilité
- de désigner, pour chaque fonction spécifique, la personne reconnue comme interlocuteur compétent : maître d'ouvrage, architecte, ingénieur civil, technicien en béton, entrepreneur (coffrage, ferrailage, bétonnage), électricien, HVAC etc.
- d'enregistrer tous les événements qui se sont produits dans les différentes phases d'exécution du projet de béton de parement
- de contrôler en continu les mesures prises dans toutes ces phases
- de régler les diverses procédures de réception entre tous les intervenants (plan de contrôle des coffrages, y compris de leur étayage, plan de contrôle des armatures, du béton, y compris de la cure, plan de contrôle des tolérances dimensionnelles, etc.)
- de s'assurer que les niveaux de qualité attendus par le client ont été atteints en tenant compte de ses besoins, de ses exigences et des objectifs fixés
- Lors des réunions de chantier, inclure un point à l'ordre du jour sur la « qualité du béton de parement », afin de garantir que les personnes concernées soient immédiatement informées si des résultats insatisfaisants ont été ou pourraient être obtenus, et de discuter de la suite de la procédure et des éventuelles mesures correctives.

6.6 Veiller à la maîtrise des coûts

Le maître d'ouvrage et le concepteur doivent, lorsqu'ils se décident pour une classe de surface de béton apparent et qu'ils en définissent l'aspect, prendre en compte les conséquences qui en résultent quant aux coûts et arrêter celles-ci contractuellement, sous une forme assurant que le maître d'ouvrage a donné son consentement en pleine connaissance de cause.

Il incombe au concepteur d'informer le plus tôt possible le maître d'ouvrage des coûts relatifs au niveau de qualité des bétons de parement. Il veillera à éviter tout risque de controverses, en cours d'exécution, quant au coût des solutions retenues. Par rapport à un béton normal, un béton de parement peut engendrer des plus-values au titre des prestations suivantes ; par exemple :

- aspect à donner à la surface du béton/application de telle peau de coffrage
- recette du béton en cas d'exigences particulières (selon SN EN 206)

- allongement de la durée du chantier (reports de délais)
- exécution plus soignée et traduction dans l'ouvrage des idées du concepteur
- cure et mesures de protection supplémentaires pour les surfaces et arêtes
- armature spéciale
- mesures cosmétiques éventuelles sur le béton
- mesures générales de protection des surfaces

6.7 Durée de la construction et reports de délais

La durée de construction de bétons de parement joue un rôle de plus en plus important, car elle exerce un effet sur la planification financière du chantier. Les maîtres d'ouvrage tendent à fixer de plus en plus des limites à la durée des chantiers en fonction de contraintes telles que mise en service du bâtiment, rentrée scolaire, remise des lieux aux locataires ou acheteurs, fin des émissions de bruit liées aux chantiers, projets devant prendre la suite de celui qui est en cours, etc., ce qui produit une énorme pression quant aux délais à respecter.

Pour que le niveau de qualité des bétons de parement puisse être atteint, il importe d'informer en temps utile le maître d'ouvrage des points suivants :

- la mise en place précise du coffrage, un bétonnage soigné et la protection du béton peuvent engendrer des retards dans la construction d'une partie d'ouvrage en béton de parement
- coûts de financement plus élevés en raison d'une durée de construction plus longue
- influences possibles sur le calendrier des rendez-vous, p. ex. en raison des conditions météorologiques

Les bétonnages effectués par une température ambiante d'env. 10 °C augmentent sensiblement le risque d'apparition de taches noirâtres sur les surfaces en béton. Le concepteur et le maître d'ouvrage doivent donc préciser la procédure à suivre lorsque les températures ambiantes sont basses ; par exemple, arrêter le bétonnage des surfaces de béton de parement ou prévoir une enceinte dans la mise en soumission.

Il faut également éviter que les surfaces de béton de parement construites en été soient directement adjacentes aux surfaces de béton exposées construites pendant la saison froide, car celles-ci peuvent avoir une teinte de couleur différente en raison de la température (séchage).

À des températures ambiantes élevées (supérieures à environ 30 °C, selon le béton), le béton durcit rapidement et devient donc plus difficile à compacter. Cela peut affecter l'apparence du béton de parement.

7 Mise en soumission

7.1 Bases essentielles

Il incombe au concepteur de décrire clairement la classe de surface de béton apparent souhaitée, le cas échéant avec des ajouts et des corrections et non pas de prescrire comment un tel résultat doit être atteint.

Les documents de la mise en soumission servent de base aux prestations que l'entrepreneur entend offrir. Ceux qui concernent du béton de parement contiendront un descriptif des prestations selon le Catalogue des articles normalisés CAN 241/04 « Construction en béton coulé sur place », les positions les plus importantes comportant la mention « béton de parement ».

Il importe que le concepteur fasse ressortir de manière très détaillée l'idée architectonique à la base du béton de parement à réaliser et les exigences posées quant à l'aspect de celui-ci. Il lui appartiendra notamment de :

- Donner une description architectonique de l'ensemble du projet, par référence au béton de parement, c'est-à-dire de :
 - décrire l'idée architectonique et urbanistique à la base de l'ouvrage (p. ex. surface visibles du béton genre conglomérat)
 - présenter l'idée architectonique et sa réalisation structurale (tâche de l'ingénieur civil)
 - décrire la solution architectonique et constructive envisagée (p. ex. angles sans appuis, coupes d'onglets dans les ébrasements de portes)
 - décrire en détail les solutions compliquées (p. ex. au moyen de photos de solutions semblables, à titre de références)
- Déterminer les classes de surface de béton apparent (CBA 2 à CBA 3, CBA S)
- Pour CBA 2, 3 et S, mettre en soumission des éléments de référence et si nécessaire, en plus, une surface d'essai (réalisée à la main).
- Si des traitements de surface tels que l'acidification ou le ponçage sont prévus, ceux-ci doivent être spécifiés en détail. L'aspect des surfaces en béton traitées dépend, entre autres, de la composition du béton et du temps de traitement. C'est pourquoi on risque d'avoir un résultat non satisfaisant si p. ex. seul le nombre de ponçages est mis en soumission. Les traitements de surface doivent toujours être contrôlés de manière adéquate avant la mise en soumission.
- Décrire le coffrage (système de coffrage et de peau de coffrage), si besoin préciser le type de coffrage (type 2 à 4), les arêtes et les angles (vifs, cassés), les joints (emplacement, tracé, rendus étanches), la texture de la surface, l'image générale à donner par le coffrage et les joints, l'étanchéité du coffrage, les délais de décoffrage et de coffrage, les tolérances, l'agent de démoulage.
- L'aspect général et les possibilités techniques de la réaliser (p. ex. système de coffrage) doivent être arrêtés par entente entre le concepteur et l'entrepreneur, voire au sein de l'équipe du béton de parement.
- Prescrire le béton : béton à propriétés spécifiées, la cure avec classe de cure et le cas échéant le type, le cas échéant traitement ultérieur de la surface
- Prescrire les armatures

- Prescrire les mesures à prendre sur le plan du management de la qualité PAQ : contrôles, réceptions, définition des responsabilités
- Si nécessaire, protection des surfaces de béton de parement : protection mécanique des surfaces durant les travaux, etc.

Indication relative à la détermination du type de béton

Selon la norme SN EN 206, la soumission peut prévoir soit du béton à propriétés spécifiées soit du béton à composition prescrite.

L'auteur du cahier des charges du béton doit informer l'entrepreneur que toutes les exigences pertinentes doivent être portées à la connaissance du fabricant de béton. Il est en général recommandé de prescrire un béton à propriétés spécifiées.

La composition du béton doit garantir que le béton peut être correctement intégré et compacté sans démélange majeur. Il faut sélectionner des mélanges de béton « robustes » avec des constituants constants (type, quantité, origine). Plus le rapport e/c est élevé et plus la teneur en farine (ciment, additifs, éléments de granulats fins) est faible, moins le béton est robuste. Il faut aussi sélectionner une durée de malaxage d'au moins 60 s lors de la fabrication du béton. La toupie de béton doit tourner pendant le transport du béton et avant le déchargement. La classe d'étalement du béton doit être F3 ou F4 et être contrôlée régulièrement. Le béton doit être coulé et compacté en couches d'environ 0,5 m de hauteur. Des essais préliminaires sur le chantier sont recommandés pour CBA 3 et CBA S afin de déterminer, entre autres, si le béton est approprié ou doit être modifié. Le béton doit être livré sur le chantier de sorte qu'il puisse être coulé sans trop de retard. Il faut éviter tout ajout d'eau sur le chantier car cela influence la couleur du béton.

Dans l'annexe C, on trouvera les points que le concepteur doit prendre en compte dans le descriptif des prestations. Dans l'annexe E, on trouvera à titre d'information, des exemples de prescriptions pouvant figurer dans une soumission.

7.2 Éléments de référence

La réalisation d'éléments de référence est recommandée pour la classe de surface de béton apparent CBA 2 et indispensable pour les classes CBA 3 et CBA S (tableau 4, page 23).

Pour les premiers essais uniquement, on peut réaliser à la main des échantillons (p. ex. au format de dalles de jardin) ou des échantillons de murs fabriqués sans points d'attache ni joints (Fig. 48), afin de déterminer la couleur souhaitée et éventuellement la recette du béton.

La réalisation d'éléments de référence (Fig. 49) dans les conditions locales du chantier, a pour objectif de :

- préparer l'entreprise adjudicatrice à développer et à mettre au point son mode opératoire sur le plan technique (détermination et optimisation des moyens à mettre en œuvre, directives au personnel et formation de celui-ci)
- réaliser des surfaces de béton dans les conditions de l'ouvrage à construire, p. ex. en ce qui concerne la teinte, la texture, le bullage, le plan des joints, la disposition des ancrages, les joints, etc.
- déterminer l'aspect des surfaces convenu contractuellement avec le maître d'ouvrage
- examiner des variantes
- faire une présentation pratique des détails d'exécution

Les éléments de référence doivent prendre en compte la géométrie des éléments à construire, l'enrobage des fers, la densité et la répartition des armatures, les incorporés et les recettes de béton envisagées. Ils doivent être mentionnés par le concepteur dans le descriptif des prestations.

Il n'est pas recommandé de considérer comme éléments de référence contractuels des bétons de parement visibles sur des bâtiments existants ; en effet, l'impression générale que donnent de tels éléments dépend de facteurs qu'il n'est en principe pas possible de reproduire sur l'ouvrage projeté, tels que la dimension, les conditions d'exécution à l'époque et le vieillissement.

La construction, la protection, la mise à disposition, ainsi que la démolition et l'élimination des éléments de référence doivent avoir été prévues par le concepteur dans le descriptif des prestations objet de la soumission. Les éléments de référence doivent être stockés sans être modifiés jusqu'à ce que les surfaces de béton de parement soient réceptionnées.

Si un **traitement de surface** est nécessaire, par exemple par lavage, lavage à l'acide, bouchardage ou sablage, cela doit être spécifié en détail dans la soumission. Cela peut se faire par exemple par une profondeur d'intervention requise, un schéma d'intervention ou, dans le cas d'une acidification, par le nombre d'étapes de traitement. Toutefois, les effets du traitement de surface sont également influencés de manière significative, entre autres, par la résistance du béton au moment du traitement, qui dépend à son tour de la composition du béton et des températures ambiantes. Si l'expérience est insuffisante, il faut effectuer des essais préliminaires significatifs et/ou consulter des spécialistes.

Figure 48 : Exemple de quatre surfaces d'essai (surfaces visibles) pour choisir le béton



Figure 49 : Exemple d'un élément de référence convenu



8 Exécution

Les concepteurs et les exécutants doivent d'emblée entretenir un échange nourri quant aux caractéristiques essentielles et aux exigences techniques des bétons de parement souhaités.

L'exécutant doit avoir été informé exhaustivement des prestations qu'on attend de lui, afin qu'il puisse construire de manière impeccable l'ouvrage en béton de parement.

Ce Cahier mentionne certains aspects de l'exécution que le concepteur doit d'emblée prendre en compte dans l'élaboration de son projet. Mais d'autres points, tels que la construction proprement dite, certains détails d'exécution, la composition des bétons, les bétons spéciaux (bétons teintés, p. ex.), l'utilisation d'agents de démoulage, la mise en place et le compactage du béton, etc. ne sont pas traités dans le présent Cahier.

Les parties concernées (maître d'ouvrage, Direction des travaux, concepteur, entrepreneur) doivent discuter en permanence de la qualité du béton de parement réalisé pendant l'exécution du projet, au cours de réunions de chantier. S'il s'avère que cela est ou pourrait être insuffisant, une discussion doit avoir lieu avec l'entrepreneur pour convenir de la suite de la procédure. Si aucun accord ne peut être trouvé, par exemple sur les améliorations nécessaires ou un avenant au contrat entre le concepteur/maître d'ouvrage et l'entrepreneur, il convient de consulter un expert.

9 Évaluation

9.1 Généralités

Le principal critère d'évaluation du béton de parement est la conformité de l'ouvrage avec les prescriptions de la mise en soumission et celles du ou des éléments de référence.

Il est important d'impliquer le maître d'ouvrage déjà dans la rédaction de ces prescriptions et de préciser, dans la convention d'utilisation de l'ouvrage et les documents servant de base au projet, l'impression visuelle générale, les tolérances quant à l'aspect que doivent présenter les surfaces, les bases d'évaluation et certains détails d'exécution. Si des éléments de référence ont été mentionnés contractuellement, ils doivent être pris en compte pour l'évaluation.

Seuls des éléments de référence appropriés permettent de définir les exigences et la faisabilité de manière fiable.

Il convient de laisser s'écouler un délai suffisant avant de procéder à l'inspection, car l'aspect d'un béton fraîchement décoffré est encore susceptible de se modifier. Il est notamment appelé à s'éclaircir sous l'effet d'une diminution de son humidité.

Chaque partie d'ouvrage est un objet unique et elle doit être évaluée en tant que telle. Il est impossible de reproduire des surfaces de béton de manière absolument identique, du fait des variations des constituants naturels du béton, des variations admises dans la composition du béton, de fluctuations inhérentes à la peau de coffrage, des agents de démoulage et des conditions météorologiques.

Les réparations doivent faire l'objet de discussions au sein de l'équipe de béton de parement, avec mention de tous les avantages et inconvénients, elles doivent toujours être effectuées en premier lieu sur les surfaces d'essai et ne doivent être évaluées qu'après plusieurs semaines, le cas échéant seulement après des intempéries. L'évaluation doit se faire en donnant la priorité à l'impression générale, au détriment de tel ou tel détail. Si l'impression générale est insuffisante, les caractéristiques individuelles sont prises en considération.

9.2 Impression générale

L'impression générale que donne un béton de parement est le critère fondamental présidant à l'acceptation d'un tel ouvrage. Pour déterminer cette impression, il importe de procéder comme suit :

- Se tenir à une distance appropriée de l'ouvrage et de la partie en cause, soit la distance à laquelle on aura coutume de regarder l'ouvrage
- Considérer l'intégralité des éléments et des surfaces de la construction, ce qui signifie que l'échafaudage doit éventuellement être retiré
- La durée d'observation correspond à celle d'un observateur normal
- Intensité et direction « normales » de la lumière du jour ou si possible, éclairage prévu
- Âge de la zone évaluée :
En raison du changement de teinte de la surface de béton de parement dû au séchage, les surfaces de béton de parement ne doivent être évaluées qu'après plusieurs semaines de séchage
- Les surfaces de béton de parement ne doivent pas être évaluées à l'état humide (p. ex. sous la pluie)

9.3 Critères particuliers

L'évaluation en fonction de critères particuliers n'est justifiée que si l'impression générale ne répond pas aux exigences ; il convient alors de procéder à cette seconde évaluation en considérant séparément chaque partie de l'ouvrage. Les tableaux 4 et 5 présentent divers critères particuliers. En outre, l'élément de référence doit être inclus dans l'évaluation des critères particuliers.

9.4 Réception

Lors de la réception des éléments, les points ci-dessus doivent être respectés.

Figure 50 : Impression générale donnée par une habitation collective construite en béton de parement teinté dans la masse



10 Réparation, cosmétique du béton

Il n'est que rarement possible de satisfaire immédiatement aux exigences des classes de surface de béton apparent CBA 2 et 3. Des réparations (cosmétique du béton) sont donc souvent nécessaires. Avant d'effectuer une réparation, il faut toujours vérifier si elle est appropriée. S'il est par exemple prévu de poncer des décrochements entre les coffrages, la peau de ciment est retirée et le granulat est mis à découvert (Fig. 51). Si le bullage ou les nids de gravier sont seulement mastiqués, la teinte et la structure du mastic peuvent différer de celles du béton (Fig. 52, 53). Des traitements cosmétiques du béton peuvent améliorer cet aspect.

Les réparations doivent être effectuées par des spécialistes. Si les entreprises intervenant n'ont pas de connaissances suffisantes en matière de réparation cosmétiques du béton, cela se traduit généralement par un résultat de mauvaise qualité. Cela risque également de rendre plus difficiles des réparations cosmétiques ultérieures effectuées par un spécialiste. Pour les réparations cosmétiques du béton, il faut toujours commencer par faire un test sur des surfaces d'essai qui ne devront être évaluées qu'au terme d'un délai de séchage suffisant. Si des réparations sont prévues sur des éléments exposés aux intempéries, il est recommandé de prendre en compte dans l'évaluation l'apparence de la réparation pendant ou après l'exposition (p. ex. pluie).

Figure 51 : Décalage poncé



Figure 52 : Bullage mastiqué



Figure 53 : Nid de gravier mastiqué au niveau du joint de coffrage



11 Bibliographie, crédits photographiques

Béton de parement	Vade-mecum pour le praticien, Holcim (Suisse) SA
Guide pratique du béton	Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables, Holcim (Suisse) SA
Béton de parement apparent Projet de recherches cemsuisse (rapports internes, non publiés)	Recommandations pour la construction concernant le béton de parement en béton Guide concernant les dommages et défauts Interactions entre le béton, les produits de décoffrage, les coffrages, la mise en œuvre et les conditions environnementales Processus de sédimentation et efflorescences dans le béton, cemsuisse 2007
Merkblatt Sichtbeton	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. Bundesverband der deutschen Zementindustrie E.V.
Sachstandsbericht Sichtbetonkosmetik	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. Bundesverband der deutschen Zementindustrie E.V.
Wegweiser Sichtbeton	Ing. civil. (VBD) Hannes Fiala, Prof. Dr. Dieter Ogniwek, Ing. dipl. (FH) Rainer Fuchs, Ing. dipl. Helmut Schuon alkus AG und Bauverlag BV GmbH, 2007
opus C	Planen & Gestalten mit Beton, revue d'architecture
Cementbulletin TFB	https://www.e-periodica.ch/digbib/volumes?UID=cem-001

Crédits photos

	Illustrations
BetonMarketing Deutschland GmbH	3 (Bosselage, bouchardage)
BETONSUISSE, photos obtenues de : APB09, Dominique Marc Wehrli APB01, Hannes Henz Construire en béton 2010/11, Kim Zwarts Construire en béton 2010/11, Kim Zwarts	32, 34, 50 52 48 49
Creabéton Matériaux SA	2 (Béton cassé), 4 (Lavage), 4 (Lavage fin)
Conzett Bronzini Gartmann AG	6 (Ornements en relief/Sculptures), 8 (Coffrage conventionnel), 9, 35, 37, 38, 41, 43, 48, 57
Holcim (Suisse) SA	1, 2 (Ponçage), 3 (Piquetage), 5 (Technique photographique), 6 (Matrice), 20, 26 (CBA S), 27, 31, 42 (schéma), 44, 45, 50
Holcim (Süddeutschland) AG	2 (Polissage), 4 (Lavage à l'acide)
Holzco-Doka Schalungstechnik AG	8 (Coffrage panneaux avec poutrelles), 11 (Peau de coffrage), 14 (Peau de coffrage), 21, 22, 23, 26 (CBA 1), 27, 29, 30, 39, 40
HUSSOR	15
Lafarge	5 (Sablage)
Max Frank Holding GmbH	18
MEVA Schalungs-Systeme AG	1, 8 (Coffrage d'une colonne), 11 (Résultat), 13, 24, 26 (CBA 2, CBA 3), 28, 30
PERI AG	8 (Coffrage cadres, coffrage circulaire), 10, 12, 14 (Résultat), 16, 17, 33
SIA 414/2	34
TFB SA	5 (Lavage à haute pression), 6 (Ornement en relief), 7, 19, 26 (CBA S), 30, 32, 36, 42 (Photo), 46, 47, 49, 51, 52, 53, 56

Toutes les illustrations sont présentées à titre d'information et d'illustration

Annexes

Annexe A : Béton de parement – données relatives à l’ouvrage

Indications générales	
Type d'ouvrage	
Adresse du chantier (localité, rue)	
Interlocuteurs	
Maître d'ouvrage (nom, téléphone, portable, adresse e-mail)	
Architecte	
Ingénieur civil	
Direction des travaux	
Entrepreneur	
Fournisseur du béton	

Annexe B : Béton de parement

Partie d'ouvrage	
Partie d'ouvrage n°	
Étage	
Étape	
Quantité de béton [m ³]	
Béton de parement selon Cahier technique pour les constructions en béton de parement (cemsuisse Cahier technique – CT 02)	
Classe de surface de béton apparent : CBA 2, CBA 3, CBA S	
Type de coffrage : type 2, type 3, type 4, type S éventuellement avec des exigences accrues	
Éléments de référence	
Cure : classe de cure, si nécessaire type de cure	
Béton	
Béton selon SN EN 206	
Béton à propriétés spécifiées, p. ex. sortes de béton (éventuellement Béton à composition prescrite)	
Classe de résistance à la compression	
Classe(s) d'exposition	
Dimension maximale nominale des granulats D _{max}	
Classe de teneur en chlorures	
Classe de consistance	
Autres	

Annexe C : Dans le descriptif des prestations pour la construction d'un ouvrage en béton de parement, les concepteurs doivent tenir compte des points ci-après

Objet	À faire ou à déterminer
Architecture	Description architectonique de l'ensemble de l'ouvrage, en tenant compte du béton de parement à réaliser (Présentation et description de l'idée à la base de l'ouvrage et de sa traduction dans la construction, description des solutions de détail compliquées)
Management de la qualité (PAQ)	Dispositions tenant compte de l'objet à construire : contrôles, réceptions, détermination des compétences, etc.
Construction	Choisir la classe de surface de béton apparent CBA 2, CBA 3 ou CBA S
	Fixer le type de coffrage (type 2 à 4, éventuellement avec des exigences accrues)
	Fixer la forme et la dimension des parties à construire en tenant compte de la nature du matériau (le béton doit pouvoir être mis en place et compacté selon les règles de l'art)
	Respecter les dimensions minimales des parties à construire et l'écartement minimal entre les barres d'armature
	Assurer un enrobage suffisant des armatures, y compris d'éventuelles armatures spéciales
	Choisir le type de cales (en mortier ou en matière synthétique)
	Fixer les exigences en matière de fissuration (accrues, élevées), y compris la largeur des fissures (tolérance maximale)
Cure	Définir la classe de cure (NBK 2, NBK 3, NBK 4) ainsi que la nature et la durée de la cure
Aspect général	Répartition des surfaces, plan de calepinage, définir les éléments des coffrages
	Présentation des joints et des angles, ainsi que des arêtes
Structure	Fixer le type de peau de coffrage (absorbant, peu absorbant, non ou très faiblement absorbant), éventuellement le système de coffrage
	Les coffrages cadres ne sont pas autorisés pour CBA 2 et 3 sauf accord spécifique
	Fixer le traitement de la surface après décoffrage (traitement mécanique ou manuel, lavage, traitement spécial tel que sablage, lavage à haute pression, etc.)
Contrôles	Mise en soumission de contrôles réguliers du béton frais et éventuellement du béton durci avec les exigences y afférentes, notamment pour CBA 2, 3 et S
Teinte du béton	Pigments en poudre ou liquides (contrôler de façon exhaustive le béton avec pigments)
Élément de référence	Réaliser des essais de teinte et un élément de référence ; soumissionner leur fabrication séparément dans le descriptif des prestations
Planéité	Fixer le niveau d'exigence en matière de planéité selon SIA 414/2 ou en fonction du projet
Joints	Pour CBA 1, définir l'exigence accrue « joints de bétonnage et joints de coffrage étanches » si nécessaire
Évaluation	Déterminer les éléments de référence
Réparations	Procédure pour les défauts de surface (« cosmétique du béton ») Fixer les mesures de protection durant la phase des travaux (feuille plastique, panneau de mise en garde, protection des arêtes, etc.) Réparations au mortier : disposer les surfaces d'essai (teinte, texture)
Protection des parties construites	Définir les mesures de protection spéciales durant la phase des travaux (p. ex. enveloppement, protection des arêtes, etc.)
	Fixer les mesures de protection des surfaces (protection anti-graffitis, lasure, imprégnation, application d'un produit hydrofuge) ou définir un mode d'utilisation propre à protéger l'ouvrage

Annexe D : Exemple de libellé relatif à un béton de parement selon CAN 241 « Béton coulé sur place » (à titre d'information)

Classe de béton de parement CBA 2

062 Béton à propriétés spécifiées (2)

Les propriétés que doit présenter le béton peuvent être spécifiées comme suit.

- 062.100 01 Béton selon la norme SN EN 206
- 03 Béton de type A
- 04 Classe de résistance à la compression C25/30
- 05 Classe d'exposition XC2 (CH), XC1 (CH)
- 06 Dimension maximale nominale des granulats D_{max} 16
- 07 Classe de teneur en chlorures Cl 0.10
- 08 Classe de consistance F4
- 11 Exigences complémentaires :
 - Béton de parement de classe CBA 2 selon « Cahier technique pour les constructions en béton de parement » de cemsuisse
 - Classe de cure NBK 1

Classe de béton de parement CBA 3

062 Béton à propriétés spécifiées (2)

Les propriétés que doit présenter le béton peuvent être spécifiées comme suit.

- 062.100 01 Béton selon la norme SN EN 206
- 03 Béton de type C
- 04 Classe de résistance à la compression C30/37
- 05 Classe d'exposition XC4 (CH), XF1 (CH)
- 06 Dimension maximale nominale des granulats D_{max} 32
- 07 Classe de teneur en chlorures Cl 0.10
- 08 Classe de consistance F4
- 11 Exigences complémentaires :
 - Béton de parement de classe CBA 3 selon « Cahier technique pour les constructions en béton de parement » de cemsuisse
 - Ciment blanc type CEM I 52,5 N
 - Classe de cure NBK 3
- 12 Divers :
 - Réaliser au préalable des surfaces d'essai d'entente avec le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur
 - Réaliser un élément de référence d'entente avec le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur
 - Protection de la surface : application 4 semaines après le décoffrage d'un hydrofuge

Figure 54 : Exemple pour CBA 1 (pas de béton de parement)



Figure 55 : Exemple de CBA 2



Classe de béton de parement CBA 3

062 Béton à propriétés spécifiées (2)

Les propriétés que doit présenter le béton peuvent être spécifiées comme suit.

- 062.100**
- 01 Béton selon la norme SN EN 206
 - 03 Béton de type C
 - 04 Classe de résistance à la compression C30/37
 - 05 Classe d'exposition XC4 (CH), XF1 (CH)
 - 06 Dimension maximale nominale des granulats D_{max} 32
 - 07 Classe de teneur en chlorures Cl 0.10
 - 08 Classe de consistance F4
 - 10 Ciment blanc CEM I 52,5 R
 - 11 Exigences complémentaires :
 - Béton de parement de classe CBA 3 selon « Cahier technique pour les constructions en béton de parement » de cemsuisse
 - Température minimale du béton frais à la livraison : 20 °C
 - Classe de cure NBK 2
 - 12 Divers :
 - Plafond en béton de parement avec effet visuel produit par le coffrage selon plan détaillé de l'architecte
 - Bétonnage de la dalle en une seule étape
 - Réalisation préalable de surfaces d'essai (y compris incorporés) d'entente entre le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur
 - Réaliser un élément de référence d'entente avec le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur
 - Contrôles : détermination de la classe d'étalement à chaque livraison de béton

Figure 56 : Exemple de CBA 3



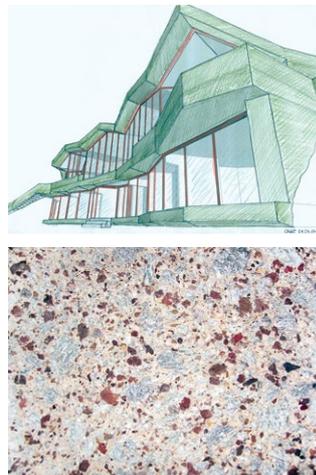
Classe de béton de parement CBA S

062 Béton à propriétés spécifiées (2)

Les propriétés que doit présenter le béton peuvent être spécifiées comme suit.

- 062.100**
- 01 Béton selon la norme SN EN 206
 - 03 Béton de type C
 - 04 Classe de résistance à la compression C30/37
 - 05 Classe d'exposition XC4 (CH), XF1 (CH)
 - 06 Dimension maximale nominale des granulats D_{max} 32
 - 07 Classe de teneur en chlorures Cl 0.10
 - 08 Classe de consistance F4
 - 10 Ciment clair CEM III/B
 - 11 Exigences complémentaires :
 - Béton de parement de classe CBA S selon « Cahier technique pour les constructions en béton de parement » de cemsuisse
 - Granulat de couleur : granit Andeer (4/32), basalte et gravier du Rhin (0/4)
 - Classe de cure NBK 3
 - 12 Divers :
 - Tenir compte de la description donnée par l'architecte
 - Bétonnage de la paroi du rez, y compris linteau et appui, L = 10,00 m, H = 3,50 m, en une seule étape
 - Réalisation préalable de surfaces d'essai d'entente entre le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur
 - Traitement ultérieur de la surface : sablage
 - Réaliser un élément de référence d'entente avec le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur

Figure 57 : Exemple de CBA S, étude en trois dimensions et surface d'essai



Annexe E : Exemple de béton de parement de la classe S (à titre d'information)

a) Description architectonique

Béton « rouillé » : le bâtiment doit être d'une couleur analogue à celle de rails rouillés. La peau de la façade doit rappeler des éléments en acier Corten dont la corrosion superficielle se serait écaillée, laissant apparaître une coloration claire changeante. Ces plaques apparemment en acier (vues de loin) constituent en réalité une enveloppe de béton monolithique présentant en surface l'empreinte des lames de coffrage.

b) Précisions sur la classe de béton de parement, description du coffrage et ouvrages de référence

Le coffrage pour ce béton de parement est constitué de lames de bois non rabotées, placées en général horizontalement. Disposition exacte des lames, de même que celle des joints (de reprise et de coffrage), selon plan de calepinage de l'architecte. Coffrage pour béton de parement sur les parois, contrecœurs et tranches de dalle.

Le coffrage de base est doublé par des lames de bois non raboté genre mélèze (larg. = 10 cm, H = 30 mm). Traitement préalable des lames à la laitance de ciment. Celles-ci ne peuvent être utilisées qu'une seule fois et doivent ensuite être éliminées.

Les joints de coffrage doivent être rendus étanches selon les règles de l'art.

Niveau d'exigence quant au coffrage selon classe de béton de parement CBA S

CBA S : classe spéciale

Texture

- Surface lisse, fermée et en bonne partie uniforme
- Bavures de laitance de ciment/mortier fin sur une largeur de 3 mm et une profondeur de 2 mm tolérée
- Décrochements de 3 mm maximum tolérés
- Décalage au niveau des joints entre éléments : tolérance 3 mm max.
- Empreinte du contour des lames de coffrage non autorisée
- Coffrage constitué de lames en bois non raboté genre mélèze (larg. = 10 cm) (préalablement traitées à la laitance de ciment)

Bullage

- Bullage minime toléré, cf. l'élément de référence

Teinte du béton

- Variations régulières et minimes, clair/foncé, sur de grandes surfaces, tolérées (p. ex. légère formation de voiles et/ou de marbrures)

Planéité

- Niveau d'exigences selon SIA 414/2

Joints

- Joints rendus étanches
- Protection des arêtes
- Pas de décalage entre deux étapes de bétonnage

Surfaces d'essai et de référence/éléments de référence

- Réalisation d'une surface de référence au moyen de 3 surfaces d'essai de 2,50 m × 1,50 m × 0,25 m
- Ouvrage de référence : poste d'aiguillage à l'entrée de la gare de Zurich
Gigon/Guyer Architekten, Zurich

Type de coffrage

- Type 3-123 selon SIA 118/262

Peau de coffrage

- Trous de percement, restes de béton adhérents, boursouflures de la peau de coffrage, traces de réparation et dommages dus au perrivateur non autorisés
- Trous de clouage ou de vissage, éraflures, voiles de ciment et traces de réparation non autorisés

Figure 58 : Béton « rouillé » (Photo : poste d'aiguillage à l'entrée de la gare de Zurich Gigon/Guyer Architekten, Zurich)



Étapes de bétonnage et joints de reprise

Le programme des étapes de bétonnage et les joints de reprise admis sont déterminés avec l'entrepreneur de telle sorte qu'aucun joint additionnel ne soit visible.

Points d'attache/ancrage du coffrage

L'emplacement des points d'attache et des tiges de coffrage est fonction du système de coffrage de l'entrepreneur (à déterminer d'entente avec l'architecte) ou du plan de calepinage. Pour la totalité des parois en façade, l'architecte exige des distances régulières entre les points d'attache et les tiges de coffrage. Les points d'attache seront visibles après le décoffrage. Les exigences quant à la mise en place de ce dispositif ainsi que les obturations seront précisées avec les éléments de référence.

Arêtes/angles

Les arêtes et angles seront vifs. L'étanchéité des coffrages devra être assurée à ces endroits.

c) Armature

Les prescriptions en matière d'armature (densité, qualité de l'acier, enrobage, etc.) seront en principe formulées par l'ingénieur civil.

Pour les façades, on recourra à des cales d'une couleur identique à celle du béton en surface ; elles présenteront une surface d'appui minimale sur le coffrage. Il est recommandé d'intégrer de telles cales dans les surfaces d'essai.

Aucune tache de rouille ne sera tolérée sur les surfaces des parois. Pour cela, on prendra les mesures préventives qui s'imposent : (éloignement des ligatures de fixation de l'armature, nettoyage du coffrage avant le bétonnage, couverture, voire enveloppement des fers en attente après le bétonnage, selon les règles de l'art).

d) Béton

La composition du béton sera fixée par l'ingénieur civil en fonction de l'exposition de l'ouvrage et des caractéristiques de sa structure porteuse. Constituants :

- Ciment blanc et pigments rouges selon surface d'essai
« fournisseur des matériaux de construction/entrepreneur »
- Granulat : roulé gris normal
- Surface du béton : lisse, sans nids de gravier et avec le moins de bullage possible ; de légers voiles et marbrures apparaissant dans la couleur du béton sont tolérés (cf. Élément de référence)
- Détermination de la classe d'étalement à chaque livraison de béton

e) Décoffrage et cure

Suivre les prescriptions de l'ingénieur civil.

Une fois décoffré, le béton de parement doit immédiatement être protégé. Cela s'applique aussi aux arêtes et angles. Les feuilles de protection ne doivent pas entrer en contact avec le béton, afin d'éviter des irrégularités de teinte (voiles, taches, etc.) sous l'effet de la condensation. Éviter toute inscription, marques de niveau, bande collante, etc. de toute nature sur la surface du béton, car elles ne pourront plus être enlevées ou laisseront une trace.

f) Protection de la surface

Quatre semaines après la construction de la partie de bâtiment en cause, on appliquera à celle-ci un hydrofuge à base de silane. Cette opération doit se faire selon les indications du fabricant et être confiée à des spécialistes. Avant le début des travaux, on appliquera, à titre d'essai, ce produit sur la surface de référence.

Cahiers techniques cemsuisse

cemsuisse rédige des Cahiers techniques destinés à donner des explications ou des recommandations sur certains sujets spéciaux. Le présent Cahier repose sur les résultats d'un projet financé par cemsuisse.

Les auteurs déclinent toute responsabilité concernant les dommages pouvant survenir du fait de l'utilisation de la présente publication. Les Cahiers techniques sont valables durant cinq ans après leur publication. La validité peut ensuite être prolongée, chaque fois pour une durée de cinq ans.

Auteur

cemsuisse, Association suisse de l'industrie du ciment,
Marktgassee 53, 3011 Berne, www.cemsuisse.ch

Éditeur

BETONSUISSE Marketing AG, Marktgassee 53, 3011 Berne,
www.betonsuisse.ch

Illustrations

Toutes les illustrations n'ont pour fonction que d'informer et de faciliter la compréhension du texte.

Design

Crafft AG, Zurich





Publié par :

BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53
3011 Berne

T 031 327 97 87
F 031 327 97 70

info@betonsuisse.ch
www.betonsuisse.ch