

Béton de parement

Vade-mecum pour le praticien.

Holcim (Suisse) SA



Forme et fonction en harmonie

Le béton de parement est une option originale qui offre une grande liberté d'expression. Outre ses atouts esthétiques, il garantit une durabilité élevée et correspond parfaitement aux critères du développement durable si il est choisi et mis en œuvre dans les règles de l'art. Les conditions du succès résident dans une étude de projet précise, une combinaison habile des options de matérialisation et une exécution parfaitement maîtrisée. Une alchimie complexe que Holcim vous permet de simplifier.

➔	1. Introduction	5
➔	2. Exigences applicables au béton de parement	6
	2.1 Texture	6
	2.2 Bullage	6
	2.3 Teinte	8
	2.4 Planéité	8
	2.5 Joints	8
➔	3. Technologie du béton	10
	3.1 Constituants du béton	10
	3.2 Ouvrabilité et consistance	12
	3.3 Production et transport	12
	3.4 Mise en place et compactage	12
	3.5 Cure	13
➔	4. Aspects constructifs du béton de parement	14
	4.1 Coffrage	14
	4.2 Plan de calepinage	17
	4.3 Produits de décoffrage	18
	4.4 Armature	19
	4.5 Surfaces particulières	20
	4.6 Protection de surface et cosmétique du béton	24
➔	5. Conditions climatiques	26
➔	6. Béton de parement pour les planificateurs	28
	6.1 Projet	28
	6.2 Soumission	28
	6.3 Eléments et surfaces de référence	28
	6.4 Evaluation	29
➔	7. Bibliographie	30



1. Introduction

La réalisation d'éléments de parement réussis débute par une synthèse de tous les objectifs et exigences.

Les parements en béton constituent des surfaces dont l'aspect doit répondre à des exigences esthétiques particulières et qui reflètent les caractéristiques propres à leur conception et à leur exécution. Lors de la réalisation de béton de parement, on distingue essentiellement les surfaces qui reflèteront le motif du coffrage de celles qui seront traitées ultérieurement. Dans les deux cas, une coloration peut être introduite comme variante conceptuelle supplémentaire. L'exécution de surfaces de parement en béton implique à la fois un grand savoir-faire de la part de toutes les personnes impliquées et une très haute précision lors des études et de la réalisation.

En matière de béton de parement, les désirs et les appréciations des divers intervenants peuvent fortement diverger. Ce qu'une personne jugera réussi, pourra être perçu comme un défaut par une autre. Afin d'établir une référence commune, il s'agit donc de clarifier avant le début des travaux ce que l'on entend exactement par béton de parement. Pour les objets où l'esthétique joue un rôle majeur, on conseille en outre de former une équipe qui sera spécifiquement chargée de coordonner les détails et d'assurer l'échange d'informations.

Les exigences s'appliquant au béton de parement dépendent d'une série de facteurs propres à la technologie du matériau, à sa mise en œuvre, ainsi qu'aux conditions climatiques (fig. 1).

Un béton de parement de haute qualité impose de hautes exigences à tous les intervenants.

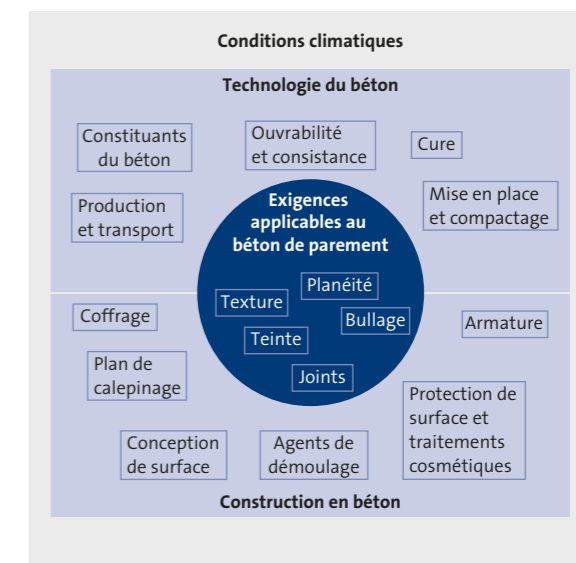


Fig. 1 Schéma des exigences applicables au béton de parement et facteurs relevant de la technologie du béton, de l'exécution et des conditions climatiques.

Dock Midfield, aéroport de Zurich

2. Exigences applicables au béton de parement

Afin d'assurer une mise en œuvre et une évaluation correctes du béton de parement, Holcim se base sur des critères reconnus.

La norme SIA 118/262 [1] énumère les exigences applicables à l'apparence d'une surface de parement en fonction de quatre types de coffrages. Des précisions supplémentaires sont données dans le cahier technique CT 02 publié par cemsuisse en 2012 [2]. Grâce à la définition de quatre classes de bétons de parement (SBK), ce document permet une spécification et une évaluation précises des surfaces en béton de parement (fig. 2). Il complète les normes SIA 262 [3], SN EN 206-1 [4], SIA 118/262 et SN EN 13670 [5], ainsi que le CAN 241 [6].

Les exigences applicables au béton de parement des différentes classes sont fixées en fonction des cinq critères suivants [2]:

- texture
- bullage
- teinte
- planéité
- joints

Ces critères comportent eux-mêmes jusqu'à trois subdivisions (fig. 3).

2.1 Texture

La texture renvoie aux propriétés géométriques de la face bétonnée (rugueuse, lisse, structurée) qui diffèrent de la surface plane. Elle permet de préciser les exigences relatives à l'homogénéité de la surface, ainsi qu'aux décalages, bavures ou balèvres aux joints de coffrage. La fig. 4 liste ces exigences pour les classes de texture TX 1 à TX 3.

2.2 Bullage

Le bullage correspond à l'ensemble des petits creux ou bulles apparaissant principalement sur les surfaces verticales. Tant que la taille des bulles n'excède pas quelques millimètres, le bullage est considéré comme normal et il ne constitue pas un défaut du béton de parement. Les exigences relatives au bullage (nombre, taille et répartition plus ou moins homogène des bulles, de taille comprise entre 1 et 15 mm) sont données de manière qualitative pour les classes de bullage LK 1 et LK 2 (fig. 5). Les bulles de taille supérieure à 15 mm ne sont pas tolérées. La classe LK 2 permet l'intégration d'une valeur quantitative relative à la proportion de bulles de taille supérieure à 1 mm sur une surface de référence de 500 x 500 mm. Pour le béton léger (béton isolant), il est conseillé d'adapter les critères de bullage et de tenir compte de la nature plus ou moins absorbante du coffrage lors de sa spécification.

Classe de béton de parement <i>Sichtbetonklasse (SBK)</i>	Niveau d'exigence	Commentaires	Exemples
SBK 1	modéré	qualité minimale sans objectif esthétique particulier	Murs de cave, locaux industriels
SBK 2	normal	qualité normale répondant à un aspect spécifié	cages d'escaliers, murs de soutènement
SBK 3	élevé	qualité supérieure correspondant à une recherche esthétique précise	façades d'immeubles
SBK S	selon indications du concepteur	classe particulière destinée à une volonté architecturale inédite	ouvrages de référence voués à la représentation

Fig. 2 Classes de bétons de parement et définitions correspondantes [2], complétées par des exemples.

Classe de béton de parement <i>Sichtbetonklasse (SBK)</i>	Niveau d'exigence	Exigences relatives aux surfaces coffrées en béton de parement				
		Texture <i>Textur (TX)</i>	Bullage <i>Lunker (LK)</i>	Teinte <i>Farbton (FB)</i>	Planéité <i>Ebenheit (EH)</i>	Joints <i>Fugen (FG)</i>
SBK 1	modéré	TX 1	LK 1	FB 1	EH 1	FG 1
SBK 2	normal	TX 2	LK 2	FB 2	EH 1	FG 2
SBK 3	élevé	TX 3	LK 2	FB 3	EH 2A/EH 2B	selon indications du concepteur
SBK S	selon indications du concepteur					

Fig. 3 Affectation des critères relatifs aux exigences du béton de parement en fonction des classes de béton de parement selon [2].

Classe de texture	Exigences
TX 1	Structure compacte et homogène de la surface Le concepteur fixe les exigences suivantes: <ul style="list-style-type: none"> • bavures de pâte de ciment/mortier admissibles aux joints de coffrage (≤ 10 mm de large, ≤ 5 mm de prof.) • décalage acceptable entre joints de coffrage (≤ 5 mm) • balèvres et redents admissibles (≤ 5 mm) • empreinte de l'élément de coffrage tolérée • aucune exigence relative au plan de calepinage
TX 2	Structure lisse, compacte et homogène de la surface Le concepteur fixe les exigences suivantes: <ul style="list-style-type: none"> • bavures de pâte de ciment/mortier non tolérées • balèvres fines techniquement inévitables tolérées (≤ 3 mm) • obligations supplémentaires détaillées (p. ex. abouts et empreintes de coffrage) • aucune exigence relative au plan de calepinage
TX 3	<ul style="list-style-type: none"> • Représentation de la structure désirée, ainsi que des détails spécifiques dans le plan de calepinage

Fig. 4 Exigences relatives aux classes de texture TX 1 à TX 3.

Classe de bullage <i>Lunker (LK)</i>	Niveau d'exigence	Bullage
LK 1	faible	<ul style="list-style-type: none"> • aucune prescription pour les bulles de taille comprise entre 1 et 15 mm (bulles de taille supérieure à 15 mm non tolérées)
LK 2	moyen	<ul style="list-style-type: none"> • fixé par le concepteur (p. ex. surface totale des bulles sup. à 1 mm: $< 0,5\%$ de la surface de réf.)

Fig. 5 Exigences relatives aux classes de bullage LK 1 et LK 2.

2. Exigences applicables au béton de parement

2.3 Teinte

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. La spécification concerne l'uniformité de la teinte, ses nuances, la coloration claire/foncée et l'apparition d'efflorescences conformément aux indications de la *fig. 6*.

2.4 Planéité

La planéité des surfaces dépend essentiellement de celle du coffrage et de sa rigidité. Des déformations exagérées du coffrage se traduisent par des ondulations. Pour la classe de planéité EH 1, les tolérances de planéité de la surface et de rectitude des arêtes sont définies par la norme SIA 414 [7] et la recommandation SIA 414/10 [8]. D'autres normes, telles que SN EN 13670 [5] et DIN 18202 [9] servent de référence respectivement pour les classes de planéité EH 2A et EH 2B. Les tolérances applicables aux différentes classes de béton de parement (SBK 1 à SBK 3) sont synthétisées à la *fig. 7*. Il est aussi possible de prescrire des tolérances plus sévères que celles des normes, mais leur faisabilité technique doit être préalablement testée. Les tolérances de planéité ne concernent évidemment pas les surfaces structurées ou traitées ultérieurement.

2.5 Joints

L'exécution des joints de reprise et les joints de coffrage (horizontaux et verticaux) revêt une importance cruciale pour l'aspect visuel général. Les exigences visent l'étanchéité des joints de coffrage (éventuelles pertes de laitance), la réalisation d'arêtes vives et leur protection, ainsi que les décalages des surfaces au droit des joints de reprise de bétonnage. Les exigences applicables aux classes de joints FG 1 et FG 2 sont données à la *fig. 8*.

Fig. 6
Exigences relatives
aux classes de
teinte FB 1 à FB 3.

Classe de teinte <i>Farbtonklasse (FB)</i>	Exigences
FB 1	<ul style="list-style-type: none"> une variation de la teinte (claire/foncée) sous forme de voiles locaux est admissible coulures de rouille et salissures non tolérées
FB 2	Teinte aussi uniforme que possible <ul style="list-style-type: none"> une variation régulière et uniforme de la teinte sur de grandes surfaces est admissible (grands voiles) changements de peau de coffrage, du mode de traitement du coffrage ou de composant du béton non tolérés
FB 3	Prescriptions particulières <ul style="list-style-type: none"> grandes zones de variations de teinte engendrées par des origines différentes des composants du béton, un changement de la peau de coffrage, de produit de démoulage ou par une cure inappropriée non tolérées variation minimale de la teinte claire/foncée admissible (p. ex. voile très léger) taches de rouille, salissures, colorations et zébrures de coulage du béton visibles non tolérées

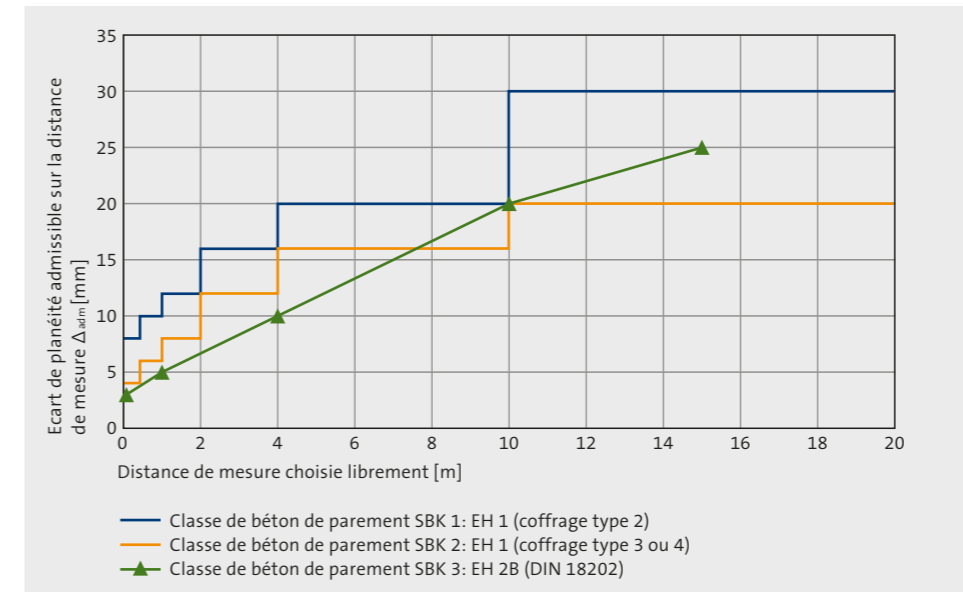


Fig. 7
Exigences relatives
à la planéité des
différentes classes
de béton de parement.

Classe de joints <i>Fugenklasse (FG)</i>	Exigences
FG 1	<ul style="list-style-type: none"> joints de coffrage étanches décalage des surfaces aux joints de reprise accepté aucune protection des arêtes
FG 2	<ul style="list-style-type: none"> joints de coffrage étanches faible décalage des surfaces aux joints de reprise admis (la valeur admissible est à spécifier) protection des arêtes (vives) nécessaire

Fig. 8
Exigences relatives
aux classes de
joints FG 1 et FG 2.

3. Technologie du béton

La qualité d'un béton de parement est fonction de divers facteurs relevant de la technologie des bétons.

La formulation d'un béton de parement doit répondre aux mêmes règles fondamentales qu'un béton traditionnel. Cependant, pour répondre aux exigences particulières liées à l'apparence, les paramètres suivants devront impérativement être considérés.

3.1 Constituants du béton

3.1.1 Ciment

Tous les ciments mentionnés dans la norme SN EN 206-1 au tableau NA 3 conviennent à la production de béton de parement. Certains types de ciments présentent toutefois des propriétés spéciales qui les rendent particulièrement adaptés à cet emploi.

- Le ciment Portland composé (p. ex. Optimo) contient une proportion de schiste calciné et de filler calcaire qui améliore sa capacité de rétention d'eau, le rend plus onctueux, améliore son aptitude au pompage et réduit le risque de démélange. De plus, cette composition favorable diminue le risque d'efflorescences.
- Le ciment Portland blanc (p. ex. Albaro) se prête particulièrement bien à la réalisation d'éléments clairs ou en béton teinté.

Il est vivement conseillé, en particulier pour les bétons de parement des classes SBK 3 et SBK 5, d'éviter toute modification du type de ciment ou changement de centrale à bétons durant l'exécution.

3.1.2 Eau

L'eau potable du réseau, l'eau de source et l'eau recyclée (eau de lavage récupérée de la production du béton) conviennent à la fabrication de béton de parement pour autant qu'elles remplissent les exigences de la norme

SN EN 1008 [10] pour l'eau de gâchage. Par souci d'écologie, l'emploi d'eau recyclée devrait être favorisé. Cependant, les fluctuations de densité des eaux recyclées peuvent être à l'origine de variations de teinte.

Pour des objets prescrits en classes de béton de parement SBK 3 et SBK 5, il est donc préférable de renoncer à l'eau recyclée, ou d'en définir préalablement l'emploi avec le maître d'ouvrage.

3.1.3 Granulat

Le type et la provenance du granulat, tout comme sa granularité, sa teneur en farines et son diamètre maximal, peuvent modifier l'aspect d'un béton de parement. Les farines auront notamment une influence prépondérante sur la teinte, la capacité de rétention d'eau (béton frais) et finalement les caractéristiques de surface du béton.

On désigne par farines tous les constituants pulvérulents du béton (ciment, additions et éléments fins du granulat) dont le diamètre est inférieur ou égal à 0,125 mm. Pour un béton de parement, la teneur en farines devrait au moins atteindre les valeurs indicatives de la fig. 9.

Les valeurs limites absolues de la granularité selon SN EN 12620 [11] pour un granulat de diamètre maximal de 32 mm et de 16 mm sont données à la fig. 10 par la zone bleu clair (en escaliers). Le fuseau appliqué en pratique est représenté en bleu foncé. Finalement la courbe bleue traitillée donne un exemple.

Pour les surfaces traitées après décoffrage, la forme et la couleur des gravillons (classes granulaires supérieures à 4 mm) doivent être considérées (cf. paragraphe 4.5.2).

3.1.4 Adjuvants

Tous les types d'adjuvants conviennent à la production de béton de parement mais les fluidifiants sont de loin les plus courants. L'utilisation de fluidifiant permet d'améliorer l'ouvrabilité, de réduire le rapport eau/ciment, d'augmenter la stabilité du matériau face à la ségrégation et d'abaisser notablement le risque de variation de teinte.

Le type et le dosage du fluidifiant doivent être adaptés au ciment, au rapport eau/ciment, à la température ambiante, ainsi qu'à la durée de transport et de mise en place du béton. Ceci afin de garantir une consistance et une montée en résistance optimales tout en limitant le risque de démélange.

L'effet sur la qualité du béton de parement d'autres adjuvants, tels que retardateurs, entraîneurs d'air et stabilisateurs, doit faire l'objet d'essais préliminaires.

3.1.5 Additions

Les principales additions du béton de parement sont les pigments, le filler calcaire et des cendres volantes. Les pigments sont en principe des oxydes métalliques destinés à teinter le béton et dosés à raison de 3 à 5 pourcents de la masse du ciment (cf. paragraphe 4.5.4). Il faut être attentif à la demande en eau des pigments, qui peut s'avérer très importante dans certains cas et augmenter notablement le dosage en eau du béton. Des essais préliminaires sont donc indispensables. Ceux-ci ont aussi pour objectifs la vérification de la teinte ainsi que le contrôle de la compatibilité avec les adjuvants.

En cas de granulat manquant de farines, l'addition de filler calcaire ou de cendres volantes, permet d'améliorer l'ouvrabilité du béton frais et d'en éviter sa ségrégation. La demande en eau élevée du filler calcaire peut cependant modifier les propriétés du béton frais et durci.

Diamètre maximal du granulat [mm]	8	16	22,5	32
Teneur en farines [kg/m ³]	450	400	375	350

Fig. 9 Teneurs en farines recommandées pour le béton de parement.

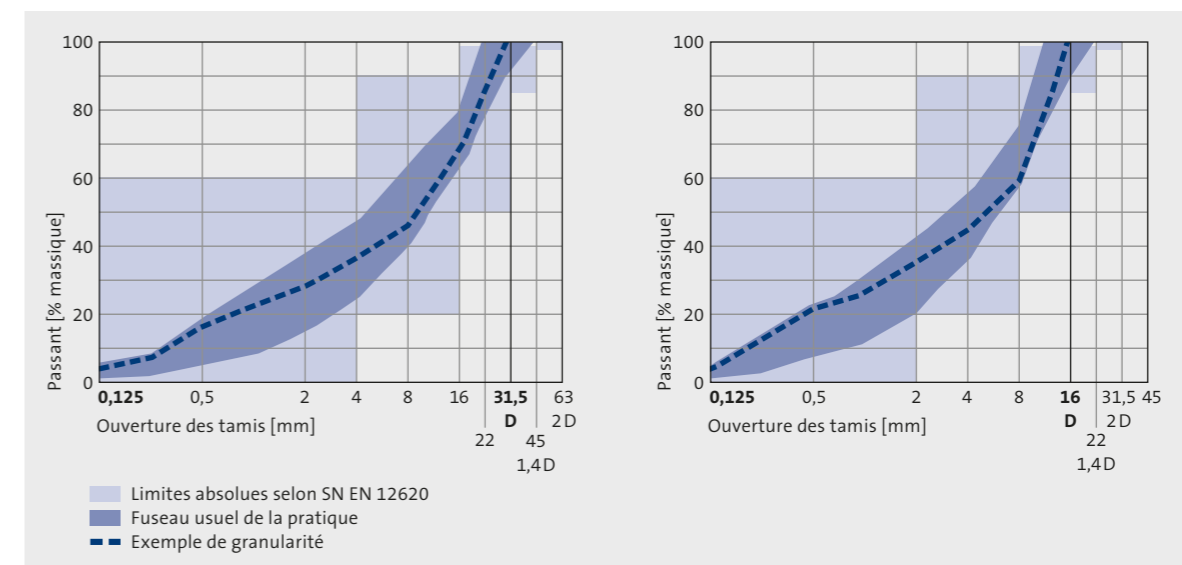


Fig. 10 Granularité limite selon SN EN 12620 (zone bleu clair) et usuelle (fuseau bleu foncé) en fonction du diamètre maximal du granulat.

3. Technologie du béton

3.2 Ouvrabilité et consistance

L'obtention d'une consistance adaptée et constante représente une condition essentielle à la réussite d'un béton de parement. Les bétons vibrés de consistance molle (classe de consistance C3) permettent un excellent remplissage du coffrage et enrobage de l'armature. Cette consistance confère au béton frais une bonne ouvrabilité, tout en garantissant son homogénéité (pas de ségrégation), et permet d'éviter les remontées d'eau de ressuage le long du coffrage. Si ils sont correctement compactés, les bétons de consistance plastique permettent aussi d'obtenir de bons bétons de parement.

L'emploi d'un béton autoplaçant (SCC) à haute teneur en farines représente aussi une alternative intéressante pour le béton de parement. Dans un tel cas, la consistance, selon l'essai de slump flow, devrait se situer entre 650 mm et 700 mm, ce qui correspond approximativement à la classe SF2.

3.3 Production et transport

Afin d'éviter les défauts dus à la ségrégation, aux variations de teinte ou à une perte de consistance, il est conseillé d'observer les recommandations pratiques suivantes:

- rapport eau/ciment constant, même en cas de variation d'humidité du granulat
- une fois fixée, la formulation du béton (origines et dosages des composants) ne doit évidemment subir aucune modification
- durée de malaxage suffisante (min. 90 secondes)
- température du béton frais la plus constante possible
- rythme de production adapté à la vitesse de mise en place
- remalaxage d'homogénéisation à haute vitesse dans la toupie du camion avant déchargement (2 minutes/m³ ou 5 minutes pour un camion malaxeur plein)
- éviter les ajouts d'eau
- s'assurer que la centrale à bétons est en mesure de livrer les quantités nécessaires dans les délais prévus et définir une centrale de secours
- trajets aussi courts que possible et tenir compte du trafic aux heures de pointe, surtout en zone urbaine

3.4 Mise en place et compactage

La mise en place du béton selon les règles de l'art est l'une des clés pour obtenir un parement de qualité. Il est conseillé d'y engager toujours la même équipe, afin de minimiser les variations. La mise en place du béton de parement doit respecter les recommandations suivantes:

- nettoyer la surface des reprises de bétonnage et les humidifier avant le bétonnage
- vérifier la propreté du coffrage (p. ex. présence de feuilles mortes ou traces de rouille)
- installer un tube plongeur ou une chaussette pour des hauteurs de chute supérieures à 1 m et limiter les distances d'écoulement
- éviter de déverser le béton directement sur les armatures ou qu'il ne rebondisse contre le coffrage, mais l'introduire au milieu du coffrage pour éviter la ségrégation
- en cas de grandes réservations (p. ex. fenêtres), prévoir des cheminées pour l'introduction et la vibration du béton
- couler et vibrer le béton en couches successives de max. 50 cm de hauteur, voire 30 cm dans certains cas (p. ex. contre-coffrage, béton léger, haute densité d'armature) tout en limitant le laps de temps entre les levées
- éviter autant que possible l'interruption du travail durant une étape de bétonnage

Une structure de béton dense et à faible porosité est une condition impérative à l'obtention d'un parement durable. Il convient donc d'observer les recommandations de compactage suivantes:

- la durée et l'énergie de compactage doivent être adaptées à la consistance et appliquées de façon uniforme
- un compactage localement trop long (survibration) doit être évité
- l'espacement des points d'introduction de l'aiguille doit être choisi de manière à ce que les zones d'actions du pervibrateur se recouvrent légèrement
- la vibration doit être interrompue dès qu'une fine couche de laitance apparaît en surface et que les grosses bulles d'air ne remontent plus que sporadiquement
- le béton ne doit pas être réparti (poussé) avec l'aiguille vibrante
- les aiguilles vibrantes ne doivent pas entrer en contact avec la cage d'armature
- lorsque le béton est mis en place par couches successives, l'aiguille vibrante doit pénétrer d'environ 10 à 15 cm dans la couche sous-jacente pour assurer la bonne liaison entre les couches (fig. 11)
- lors du bétonnage de parois, il est recommandé de tracer des marques sur le flexible du pervibrateur de manière à ce que celui-ci soit toujours plongé de la même profondeur dans le béton frais

3.5 Cure

La cure des bétons de parement nécessite un soin particulier et les surfaces doivent être protégées de la dessiccation ainsi que de la pluie aussi longtemps que possible. La dessiccation risque d'engendrer une perturbation de l'hydratation du ciment, un faïençage et un poudrage de la surface (phénomène particulièrement néfaste en cas de béton teinté), alors que la pluie risque d'engendrer des efflorescences, en particulier par temps froid. La teinte du béton dépendant du degré d'hydratation du ciment, il est nécessaire d'avoir des durées de coffrage (entre 2 et 5 jours) et de cure identiques pour toutes les étapes d'un ouvrage en béton de parement. Le décoffrage doit en outre être effectué en une seule fois et les surfaces dégagées laissées libres (ne pas y appuyer d'éléments de coffrage), afin d'exclure la formation de taches.

D'une manière générale, les conditions de cure d'un béton de parement de qualité sont obtenues en enveloppant le béton d'un espace humide dans lequel l'eau ne puisse pas s'accumuler et où l'air ne puisse pas circuler (tirage). On peut créer cet espace humide en protégeant les surfaces dès le décoffrage à l'aide d'une feuille plastique maintenue à une certaine distance du béton. Cette feuille ne doit pas entrer en contact avec le béton car la condensation accumulée sous la feuille risque d'engendrer des efflorescences.

Les principes de cure sont donc les suivantes:

- maintien de l'humidité (éviter la dessiccation)
- protéger des apports extérieurs d'eau (pluie, condensation, éclaboussures)

Les règles pratiques d'exécution suivantes doivent en outre être respectées:

- ne décoffrer que lorsque la résistance est suffisante afin d'éviter un endommagement de la peau du béton
- protéger le béton fraîchement décoffré, en particulier les arêtes vives, contre les chocs
- débiter la cure immédiatement après la mise en place ou le décoffrage du béton
- empêcher le ruissellement de la condensation accumulée sous les feuilles de protection
- évacuer l'eau éventuellement présente sur les coffrages avant leur retrait
- recouvrir les armatures en attente de feuilles de protection ou les enduire de laitance de ciment afin d'éviter des coulures de rouille (fig. 12 et 13)

Les exigences relatives à la cure des bétons de parement sont données par la norme SIA 262 [3] ou le cahier technique CT 02 «Ouvrages en béton de parement» de cemsuisse [2]. La durée de cure est directement fonction de la classe de cure (Nachbehandlungsklasse) NBK 1 à 4 qui doit être spécifiée par les projeteurs en fonction de l'exposition environnementale de l'élément en béton de parement.

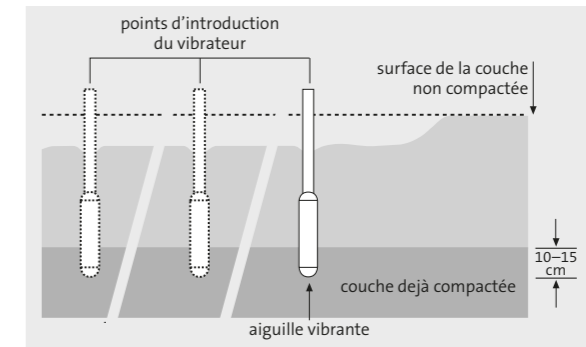


Fig. 11
Mise en place
par couches
successives.



Fig. 12
Protection des fers
en attente à l'aide
d'une feuille plas-
tique.

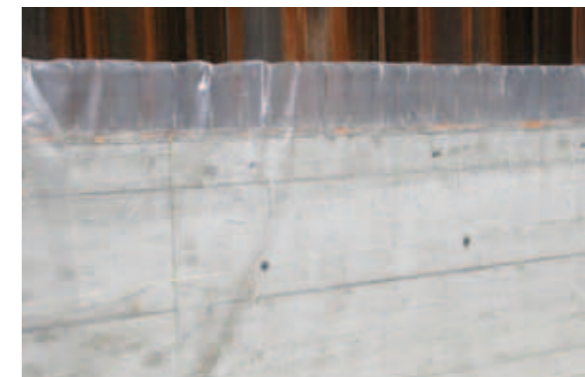


Fig. 13
Fers en attente
correctement pro-
tégés de la pluie.

4. Aspects constructifs du béton de parement

La réalisation de surfaces de parement esthétiquement irréprochables dépend de nombreux paramètres d'exécution.

En plus de la technologie du matériau, de nombreux paramètres liés à la conception et aux choix constructifs influent de manière significative sur l'aspect d'un parement en béton.

4.1 Coffrage

Le coffrage doit reprendre la poussée du béton frais tout en présentant une rigidité suffisante pour limiter les déformations et assurer l'exactitude dimensionnelle des éléments projetés. Les bétons de parement exigent en outre des précautions supplémentaires en matière d'étanchéité et de propreté. Quant au rendu de la surface de parement, il dépend des propriétés et de la structure de la peau de coffrage.

4.1.1 Peau de coffrage

Les matériaux suivants sont couramment utilisés comme peau de coffrage:

- lames de bois brut rabotées ou non
- panneaux trois plis
- panneaux contreplaqués ou agglomérés avec revêtement de surface (bakérisé, couche d'époxy)
- banches métalliques
- coffrages synthétiques ou seulement revêtus d'une matière synthétique (polyester, polystyrène, élastomère, etc.)

Une des propriétés essentielles de la peau de coffrage est son pouvoir absorbant. A cet égard, le choix de la peau appropriée doit prendre en compte les différences fondamentales suivantes:

- une peau absorbante permet l'évacuation d'air et/ou d'eau excédentaire de la couche superficielle du béton (effet buvard) et favorise l'obtention de surfaces présentant peu de bullage et une teinte relativement homogène et foncée (réduction superficielle du rapport e/c)
- une peau non absorbante engendre des surfaces claires et très lisses, mais elle accentue aussi le risque de voir apparaître des remontées d'eau, du bullage, des marbrures ou des variations de teinte

Les *fig. 14 et 15* montrent les effets du pouvoir absorbant de différentes peaux de coffrage sur la teinte et les autres caractéristiques de surface du béton de parement.

Les qualités de peau de coffrage déterminent de façon importante l'aspect de la surface bétonnée. Les exigences doivent donc être déterminées en fonction de la classe de béton de parement (*fig. 16*).



Fig. 14
Résultats d'essais
avec divers types de
peaux de coffrage.

Propriétés/types de peau de coffrage	Caractéristiques de la surface bétonnée	Effets potentiels sur la surface du béton
Absorbant		
1 Lame brute	apparence rugueuse (haute capacité d'absorption), teinte foncée avec de fortes variations locales	présence de fibres de bois isolées, poudrage dû à l'amidon de bois, faible bullage
2 Lame rabotée	apparence lisse, plus claire que 1 (plus faible capacité d'absorption)	poudrage dû à l'amidon de bois, davantage de bullage que 1
3 Panneau aggloméré sans revêtement	légèrement rugueuse, teinte foncée	fortes variations de teinte, peu de bullage
4 Nappe drainante	surface striée, très foncée	risque de plis, pratiquement aucun bullage
Peu absorbant		
5 Panneau trois plis structure bois durcie par projection	foncée lors des premières utilisations, plus claire ensuite	capacité d'absorption diminue lors de réutilisations, influence sur la teinte et le bullage
6 Tube de coffrage cartonné	lisse, claire	agent de démoulage superflu, ne convient qu'aux colonnes, très faible bullage
Non ou très faiblement absorbant		
7 Panneau traité lisse ou non	lisse, claire	variations de teinte, marbrures superficielles (en cas de béton très fluide ou manquant de farines), risque de bullage accru
8 Panneau revêtu de résine synthétique	légèrement plus claire que 7	pratiquement comme 7
9 Banche métallique	lisse, claire	comme 7, taches de rouille possibles
10 Matrice synthétique	lisse à fortement structurée selon motif, claire	influence marquée de défauts d'étanchéité aux joints
11 Tube de coffrage métallique ou synthétique	lisse, claire	pratiquement comme 7

Fig. 15
Caractéristiques de
différentes peaux
de coffrage avec
leurs possibles ef-
fets sur la surface
de béton.

Critères	Classe de béton de parement <i>Sichtbetonklasse (SBK)</i>			
	SBK 1	SBK 2	SBK 3	SBK 5
Percements	admissibles	admissibles si réparations effectuées dans les règles de l'art	non tolérés	
Trous de clouage ou vis	admissibles	admissibles si nets et sans éclatements	non tolérés	
Dommages à la peau de coffrage dus au pervibrateur	admissibles	non tolérés	non tolérés	
Eraflures	admissibles	admissibles si réparations effectuées dans les règles de l'art	non tolérées	
Restes de béton adhérents	admissibles dans les points singuliers (p. ex. trous de clouage), non admis sur les surfaces planes	non tolérés	non tolérés	selon indications du concepteur
Voiles de ciment	admissibles	admissibles	non tolérés	
Boursoufflures de la peau de coffrage dans les zones de clouage/vissage (gonflements en présence d'eau)	admissibles	non tolérées	non tolérées	
Traces de réparations effectuées dans les règles de l'art	admissibles	admissibles	non tolérées	

Fig. 16
Exigences appli-
cables à la peau de
coffrage en fonc-
tion de la classe de
béton de parement.

4. Aspects constructifs du béton de parement

4.1.2 Types de coffrage

Le choix du type de coffrage est déterminé par le concepteur et celui du système coffrant (p. ex. coffrages panneaux avec poutrelles, coffrages cadres, banches de coffrage) par l'entrepreneur, selon les critères suivants:

- géométrie de l'élément de construction
- qualité de parement désirée (conditions particulières)
- nombre de réutilisations possibles
- difficultés de montage
- mode de mise en place et de compactage du béton
- prix

La norme SIA 118/262 [1] définit les exigences relatives aux types de coffrages, qu'elle classe en quatre catégories (type 1 à 4), tels que présentés à la fig. 17. Ces types de coffrage, mentionnés dans le descriptif des prestations (CAN), déterminent les caractéristiques de surface du béton, indépendamment d'éventuels traitements ultérieurs de la surface. Ils peuvent être rapportés aux classes de béton de parement décrites dans [2], selon les correspondances indiquées à la fig. 18. On notera que le coffrage de type 1 n'est admis pour aucune classe de béton

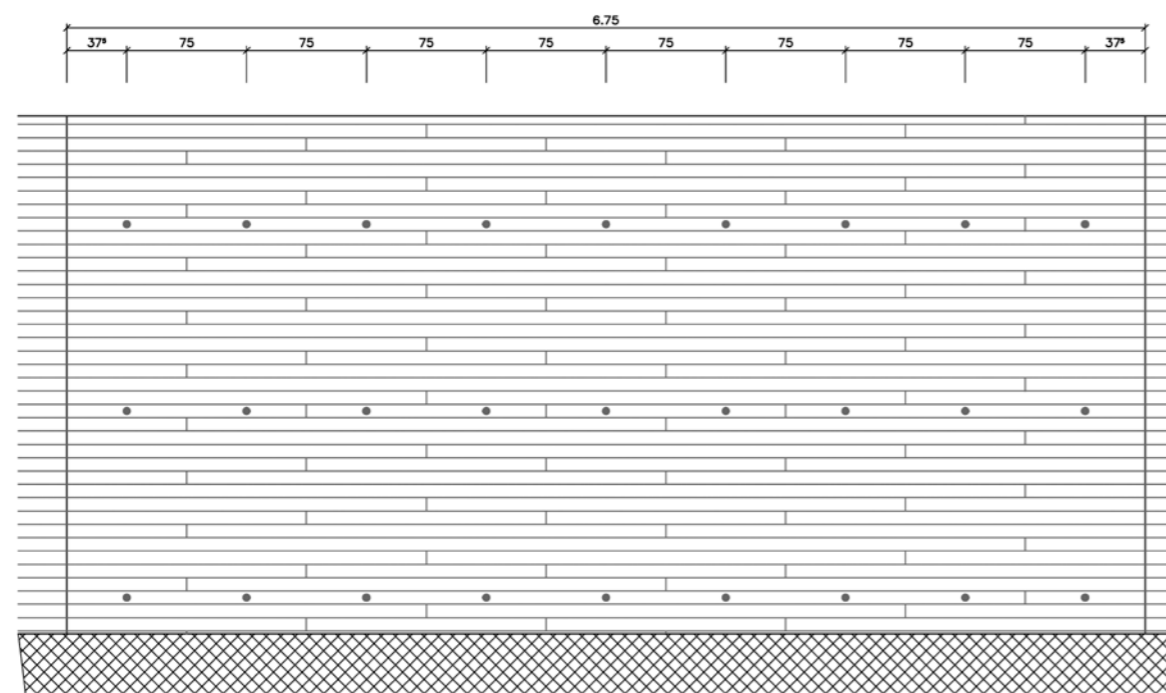


Fig. 17 Types de coffrages selon norme SIA 118/262 [1].

Type de coffrage selon la norme SIA 118/262 [1]	Classe de béton de parement selon cahier technique cemsuisse [2]
Type 1: béton d'aspect ordinaire	aucune
Type 2: béton d'aspect soigné	SBK 1
Type 3: béton de parement conservant l'empreinte des lames de coffrage	SBK 2, SBK 3
Type 4: béton de parement conservant l'empreinte des panneaux de coffrage	SBK 2, SBK 3
Type de coffrage spécifié par le concepteur	SBK 5

Fig. 18 Correspondances des types de coffrages selon [1] et des classes de béton de parement selon [2].

Fig. 19 Exemple de plan de calepinage d'une paroi (source: Holzco-Doka).



de parement, tandis que le coffrage approprié à la classe de béton de parement SBK 5 doit être spécifié par le concepteur.

4.2 Plan de calepinage

En plus de la spécification de la peau de coffrage, les conditions particulières doivent donner la structuration éventuelle de la surface. Le cas échéant, le concepteur doit préciser ses désirs dans un plan de calepinage. Il peut être judicieux de mentionner aussi ces exigences dans le descriptif des prestations. Le plan de calepinage doit représenter les détails de conception suivants (fig. 19):

- éléments de coffrage: géométrie, structure et orientation
- joints de reprise: type et emplacement
- joints de coffrage: position et étanchéité
- arêtes: profil ou taille de la baguette d'angle
- écarteurs de coffrage: type, position et type de fermeture

Le plan de calepinage doit préciser toutes les particularités concernant la taille (largeur/longueur) et l'orientation des lames ou panneaux de coffrage. Il convient en l'occurrence de tenir compte des formats disponibles, car les découpes spéciales peuvent entraîner des surcoûts importants. Si l'empreinte des fixations de la peau de coffrage doit répondre à des exigences spécifiques, celles-ci doivent être décrites avec exactitude, en indiquant p. ex. si la peau de coffrage est à visser, clouer, agraffer sur le devant selon une trame régulière, ou à visser sur l'envers pour des fixations invisibles.

Les joints de coffrage ne sont généralement pas totalement étanches, d'où l'apparition de nuances plus foncées dans ces zones et les surfaces adjacentes (fig. 20). Des décalages de quelques millimètres sont également fréquents. Si les joints doivent correspondre à une qualité esthétique plus élevée, il faut mentionner expressément les exigences d'étanchéité dans le descriptif des prestations. Une trame régulière des écarteurs et tiges d'ancrage peut en outre être définie. Il faudra toutefois tenir compte des limites (p. ex. rigidité) du système de coffrage. Il s'agit également de préciser si, et comment, les trous coniques laissés par les écarteurs de coffrage doivent être obturés (p. ex. avec du mortier de teinte donnée ou des bouchons). Le rebouchage de ces trous peut entraîner des différences de teinte et des défauts de bords.

Pour les reprises de bétonnage, il convient de préciser si des listes doivent être appliquées pour marquer des faux-joints (fig. 21) et, le cas échéant, en donner leur forme (p. ex. trapézoïdales ou triangulaires). Il faut impérativement veiller à ce que l'enrobage des armatures soit suffisant au droit des faux-joints (fig. 22). Dans le cas où les listes ne sont pas admises (fig. 22 à gauche), il est recommandé de fixer une lambourde provisoire contre le cof-

frage afin d'obtenir une ligne de reprise régulière entre les étapes.

Les arêtes sont généralement chanfreinées au moyen de listes triangulaires de minimum 10 x 10 mm. Tout autre type d'exécution doit être dûment indiqué dans le descriptif des prestations. Les arêtes vives présentent un intérêt architectural indiscutable, cependant, malgré tout le soin apporté à leur confection, elles représentent des détails délicats à obtenir et risquent d'être endommagées lors du décoffrage, en cours de chantier ou durant l'exploitation. De plus, les utilisateurs maladroits risquent de se blesser. Le choix d'arêtes vives dans les zones de passage de lieux publics (p. ex. école) doit donc être réfléchi avec soin.



Fig. 20 Joints de coffrage présentant des défauts d'étanchéité (lignes sombres).



Fig. 21 Faux-joint.

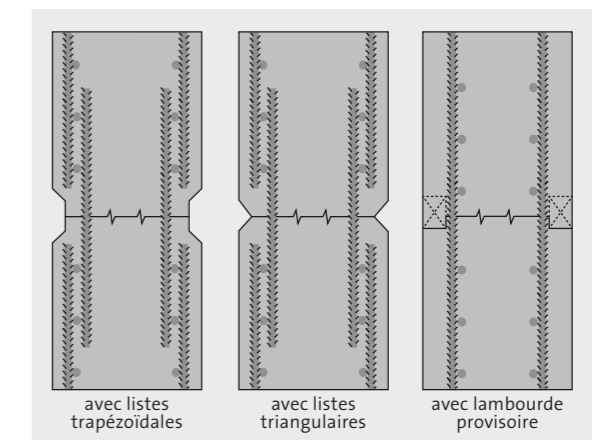


Fig. 22 Divers types de joints de reprise avec armatures en attente. L'enrobage doit également être respecté au droit des joints.

4. Aspects constructifs du béton de parement

4.3 Produits de décoffrage

Les produits de décoffrage, ou agents de démoulage, assurent un décoffrage optimal, laissant une empreinte irréprochable de la peau de coffrage sur le béton. Ces produits permettent de limiter les défauts, en particulier aux endroits délicats tels que les arêtes et les coins. Un film séparateur empêche l'adhérence entre la peau de coffrage et le béton. Le produit de décoffrage ayant une grande influence sur l'aspect du béton de parement (p. ex. risque de bullage), son choix est décisif. Les produits de décoffrage servent en outre à protéger le matériel de coffrage, pour permettre sa réutilisation. Il existe divers types de produits de décoffrage:

- huiles, huiles minérales
- cires et laques
- émulsions

Les agents de démoulage peuvent contenir des solvants ou en être exempts. Les produits sans solvant sont aptes à l'emploi dès leur application sur la peau de coffrage, alors que ceux qui en contiennent, ainsi que les émulsions, ne déploient leur effet séparateur qu'après évaporation du solvant. Le temps d'évaporation peut sensiblement s'allonger à basse température, en cas de taux d'humidité de l'air élevé ou d'application d'une pellicule trop épaisse. On prendra garde au fait que les deux faces du coffrage d'un mur ne sont généralement pas montées et protégées par l'agent de décoffrage au même moment (opération de ferrailage entre les deux). L'évaporation du solvant et l'efficacité du produit seront donc différentes sur les deux faces, surtout en cas de fort ensoleillement.

Pour les bétons de parement, l'expérience montre que les meilleurs résultats sont obtenus en appliquant l'agent de démoulage avec parcimonie et en éliminant le surplus avec un racloir en caoutchouc (fig. 23), ou mieux encore en l'étalant au chiffon (fig. 24). Si l'agent de démoulage est appliqué à la buse, le produit doit être finement pulvérisé pour assurer un film régulier (fig. 25).

Un excédent d'agent de démoulage peut engendrer des colorations brun-jaune (fig. 26), un bullage accru, une perturbation de l'hydratation du ciment en surface et un poudrage superficiel (fig. 27).

Finalement, il est indispensable de coordonner agent de démoulage, peau de coffrage, béton et conditions environnementales, selon les recommandations des fabricants de coffrages et de produits de décoffrage.

4.4 Armature

Bien que les fissures soient indésirables du point de vue esthétique, il est impossible d'en éviter totalement l'apparition sur le béton de parement. Les mesures de conception et d'exécution permettent cependant de diminuer le risque de fissuration, alors que l'armature permet de contrôler l'ouverture et l'espacement des fissures.

Fig. 23 Répartition uniforme du produit de décoffrage à l'aide d'une raclette en caoutchouc.



Fig. 24 Répartition uniforme du produit de décoffrage à l'aide d'un chiffon.



Fig. 25 Application du produit de décoffrage à la buse.



Fig. 26 Colorations dues à un surdosage du produit de décoffrage.



Fig. 27 Poudrage engendré par un surdosage du produit de décoffrage.



4.4.1 Mise en œuvre de l'armature

Les exigences de bases relatives à la mise en œuvre de l'armature sont données par la norme SIA 262:

- respecter l'enrobage prescrit de l'armature en fonction des classes d'exposition (protection contre la corrosion)
- garantir l'adhérence entre les armatures et le béton (éviter la présence de glace ou de salissures sur les barres)

Pour le béton de parement, les aspects suivants sont particulièrement importants:

- réserver suffisamment d'espace pour la mise en place et le compactage du béton
- prévoir une armature minimale permettant de limiter l'ouverture des fissures (retrait, variations de température)
- réceptionner l'armature en mettant un accent particulier sur le contrôle de l'enrobage (aucun revêtement de protection ultérieur ne pouvant être appliqué).

Les dimensions minimales des éléments de parement doivent être conçues afin d'exclure des problèmes d'exécution, de garantir la durabilité, ainsi que le respect des diverses exigences géométriques (fig. 28).

4.4.2 Limitation de la fissuration

C'est avant tout lorsqu'elles s'accompagnent de salissures ou d'efflorescences, que les fissures gênent la perception d'un élément en béton de parement. Elles sont généralement plus visibles et dérangeantes à faible distance d'observation et sur des surfaces lisses plutôt que structurées. Les exigences relatives à la fissuration de surfaces de parement définies dans [2], sont résumées à la fig. 29.

Selon les règles usuelles du béton armé, les fissures d'une ouverture de 0,3 mm (éléments situés à l'extérieur) à 0,5 mm (éléments situés à l'intérieur dans un milieu sec) ne posent aucun problème de durabilité. Si pour des raisons esthétiques une limite plus sévère est attendue, elle doit être convenue sur la base d'un dialogue entre le maître d'ouvrage et les concepteurs et être reportée dans la convention d'utilisation, car la quantité d'armature à mettre en œuvre en dépendra fortement.

4.4.3 Cales

Les cales assurent la position ainsi qu'un enrobage correct des armatures. Elles doivent être prévues en nombre suffisant et choisies en fonction du type d'élément (dalle, paroi). Certaines cales linéaires pouvant entraver partiellement l'écoulement du béton, en particulier du béton autocompactant, le choix de leur type devra tenir compte de la consistance du béton. Leur surface d'appui sur le coffrage devrait être aussi réduite que possible mais ne pas engendrer de contraintes de compression trop importantes sur celui-ci. Les éventuelles apparitions des cales sur le parement seront minimisées si les cales sont faites du même matériau que le béton qui les enrobe. Les cales en béton (mortier) doivent être pré-humidifiées avant leur mise en œuvre et la fermeture du coffrage. Des exemples de cales adaptées au béton de parement sont donnés dans [2].

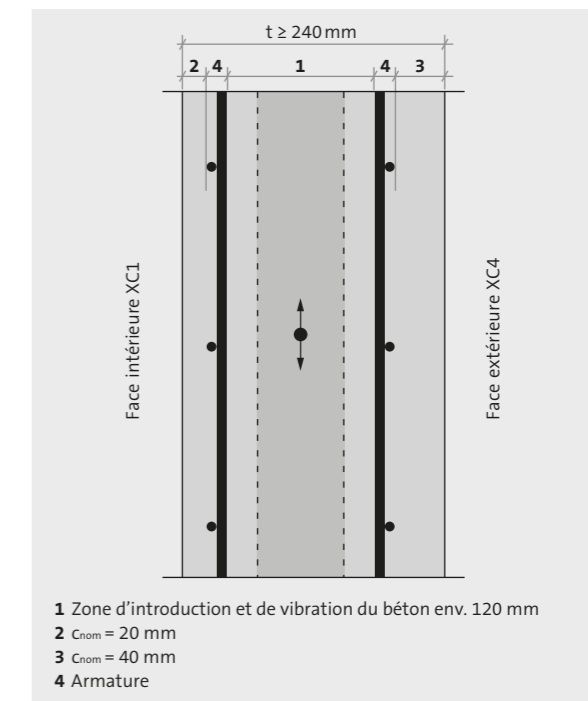


Fig. 28 Détermination de l'épaisseur minimale d'un mur en fonction de l'enrobage, du ferrailage, et du mode de mise en place du béton.

Classe de béton de parement	Exigences en matière de fissuration selon SIA 262	Commentaires
SBK 1	accrues	Bonne répartition des fissures et exigences spéciales en matière d'aspect
SBK 2	accrues	Bonne répartition des fissures et exigences spéciales en matière d'aspect
SBK 3	élevées	Bonne répartition des fissures, limitation de leur ouverture et exigences élevées en matière d'aspect
SBK S	accrues ou élevées	Identiques à SBK 2, respectivement SBK 3

Fig. 29 Exigences relatives à la fissuration des parements [2].

4. Aspects constructifs du béton de parement

4.5 Surfaces particulières

Outre les choix offerts par la peau et la disposition des joints et écarteurs de coffrage, d'autres possibilités de conception des surfaces sont envisageables:

- matrices
- traitement ultérieur de la surface
- béton photogravé
- béton teinté

4.5.1 Matrices

L'usage de matrices synthétiques moulées permet des effets architectoniques inédits et pratiquement illimités. L'éventail des choix de structures de matrices va de l'imitation de la lame de bois brute au rendu d'images obtenues par effets d'ombre sur la surface. Les parements se distinguent par un aspect uniforme, un faible bullage et une quasi absence de marbrures. L'effet clair-obscur engendré par la texture peut, en outre, conférer une uniformité visuelle accrue à l'ensemble de la surface. Lors de la conception, il importe d'adapter les dimensions des éléments à réaliser aux formats de matrices disponibles. Le cas échéant, il faudra projeter le calepinage des matrices en accord avec le fabricant. Enfin, les matrices doivent être fixées au coffrage selon les règles de l'art pour exclure tout déplacement lors du bétonnage.

4.5.2 Traitement de la surface

Il existe divers procédés de traitement de la surface du béton jeune ou durci, mais quelle que soit la méthode retenue, il faudra impérativement respecter l'enrobage minimal prescrit. Quelques exemples de traitements de la surface sont définis ci-après:

- **Lavage fin:** la pâte de ciment du béton encore jeune est enlevée sur 1 à 2 mm de profondeur, ce qui donne à la surface une apparence analogue au grès. L'influence sur la teinte, respectivement de la pâte de ciment et du granulat, dépend de la profondeur traitée par lavage.
- **Lavage:** les granulats grossiers sont pratiquement dénudés du côté visible par un enlèvement de plus de 2 mm de pâte de ciment (fig. 30). La surface obtenue offre un aspect très brut, où la couleur des granulats domine. La réalisation d'une telle surface nécessite l'application d'un retardateur de prise sous forme de pâte, appliquée contre le coffrage. Après décoffrage, la couche ainsi retardée est détachée par jet d'eau. On parle ici de béton lavé.
- **Traitement à l'acide:** l'enlèvement à l'acide de la couche superficielle de pâte de ciment du béton durci dénude légèrement les granulats (fig. 31). La surface offre un aspect plus ou moins rugueux en fonction de la profondeur de traitement. On prendra garde à ce que l'acide n'attaque pas la structure de pâte de ciment qui doit rester en place (risque de poudrage).

- **Lavage à haute pression:** le traitement de la surface décoffrée s'effectue à l'aide d'un jet d'eau à haute pression sur une surface non retardée. On obtient des surfaces plus ou moins rugueuses selon la pression du jet.
- **Sablage:** le traitement par sablage donne des résultats analogues au lavage fin, mais il augmente aussi la rugosité des granulats qui perdent ainsi leur éclat et donnent à la surface un aspect mat et rugueux (fig. 32). La profondeur d'enlèvement peut varier en fonction de l'effet recherché.
- **Décapage au chalumeau:** une flamme de quelque 3000°C fait fondre la pellicule superficielle de la pâte de ciment durcie et éclater les granulats. On obtient une surface craquelée et très rugueuse.
- **Ponçage:** si la surface n'est que très légèrement poncée la couleur sera dictée par la pâte de ciment (fig. 33). Dans le cas d'un ponçage intensif révélant les granulats, la couleur sera dictée par ceux-ci (fig. 34). Dans les deux cas on obtient une surface très lisse et brillante, dont l'éclat peut encore être accentué par un polissage.
- **Bouchardage:** l'enlèvement mécanique de matériau à la boucharde confère une grande rugosité à la surface (fig. 35).
- **Piquetage:** la surface est piquetée irrégulièrement à l'aide de divers burins et marteaux pour lui donner une apparence très brute.
- **Bosselage:** le procédé est analogue au piquetage, mais avec des profondeurs d'enlèvement nettement plus accentuées.
- **Nervurage:** la surface est travaillée comme des sillons à l'aide d'un ciseau à rainurer. Pâte de ciment et granulats déterminent la nuance obtenue.

Les traitements mécaniques et thermique déstructurent la peau du béton et peuvent engendrer une microfissuration potentiellement nuisible à la durabilité des parements très exposés. On notera aussi que le traitement des surfaces va détacher prioritairement les zones de moins bonne qualité (fissures, nids de gravier, zones de perte de laitance au droit de joints) et les mettre ainsi en évidence. A titre d'exemple, des fissures pratiquement invisibles avant traitement verront leurs lèvres s'arrondir et présenteront, après traitement, une ouverture apparente plus grande (fig. 36 et 37).

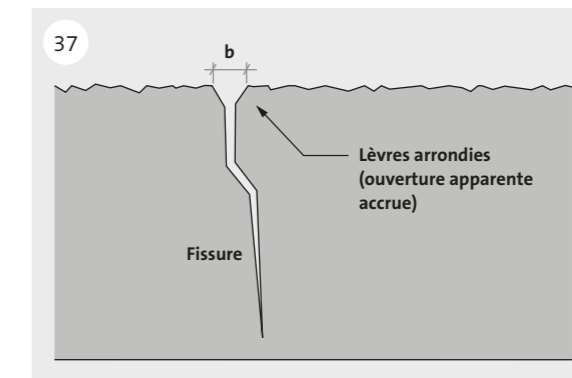
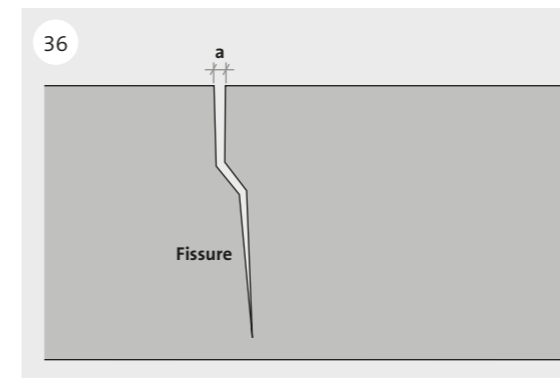
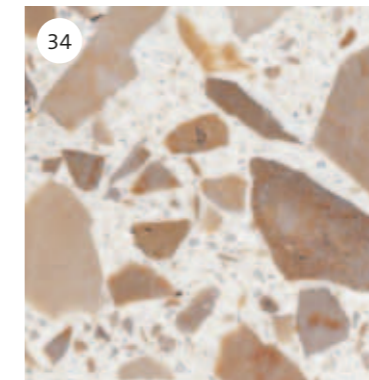
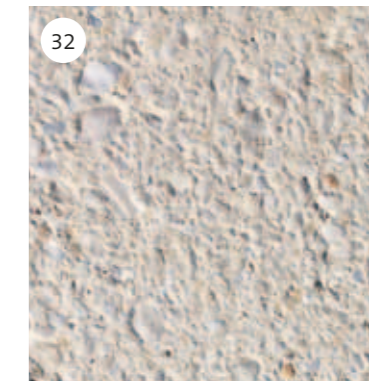
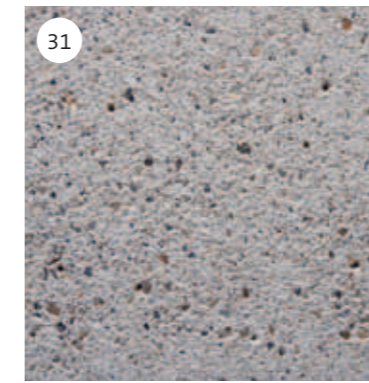
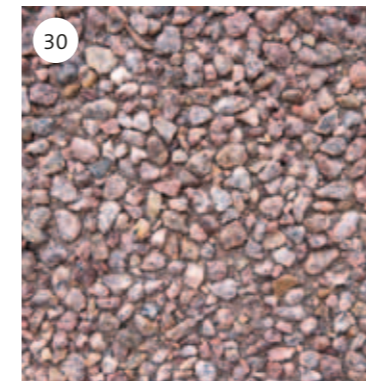


Fig. 30
Surface lavée.

Fig. 31
Surface traitée à l'acide.

Fig. 32
Surface sablée.

Fig. 33
Surface légèrement poncée.

Fig. 34
Ponçage de surface faisant apparaître les granulats.

Fig. 35
Surface bouchardée.

Fig. 36
Fissure avant traitement de surface.

Fig. 37
Fissure de fig. 36, dont les lèvres ont été localement arrondies par le traitement de la surface (b > a).

4. Aspects constructifs du béton de parement

4.5.3 Béton photogravé ou images matricées

Ce type de procédé permet de reproduire des images par structuration et ombres reportées en surface. Différents procédés permettent l'obtention de ces jeux d'ombres. Le premier consiste à employer une matrice striée, dont les profondeurs de sillons sont variables. Le deuxième procédé consiste à retarder de manière ciblée la prise de certaines zones de la surface du béton. Il s'agit, dans ce cas, de placer dans le coffrage des films préalablement enduits de retardateurs de prise diversement appliqués, puis de laver la surface à basse pression pour obtenir des zones rugueuses/lisses et des motifs clairs/foncés.

4.5.4 Béton teinté

En plus des traitements de surface, la couleur du béton représente une option conceptuelle supplémentaire (fig. 38). Elle est obtenue par l'addition de pigments colorés, intégrés lors du malaxage en centrale ou dans la toupie du camion (cf. paragraphe 3.1.5). Tous les ciments conviennent à la confection de béton teinté. Si l'on désire des teintes pastels ou un éclat prononcé, on préférera un ciment blanc, alors que si la couleur recherchée est plus foncée, on choisira de préférence un ciment gris usuel et économique. L'intensité de la teinte dépend du dosage et de la qualité des pigments, eux-mêmes disponibles sous forme pulvérulente ou liquide (slurry). Les nuances de teinte peuvent encore être accentuées par la mise en œuvre de granulats colorés.

Les producteurs et les concepteurs devraient de surcroît:

- Prévoir des éléments d'essai afin d'évaluer concrètement la couleur et l'effet visuel global.
- Veiller à maintenir une uniformité maximale des composants, de la procédure de production, de la mise en œuvre et de la cure du béton.
- Éviter les conditions météorologiques extrêmes et bétonner, si possible, par temps sec et clément.
- Nettoyer préalablement le silo à ciment, le malaxeur et tous les équipements de production et de transport du béton, en cas d'emploi de ciment blanc.
- Envisager une protection des parements teintés par un glacis incolore ou un hydrofuge de surface.
- Considérer une éventuelle variation et instabilité de la couleur avec le temps (voir aussi chap. 5).

Fig. 38
Exemples de résultats obtenus avec différents pigments.



Exemple d'application de béton teinté
Palazzo Stutz, Brissago, TI

La couleur est une option conceptuelle en soi. L'emploi de ciment blanc permet d'avoir un béton de référence très clair qui peut être teinté dans la nuance désirée.

Photographe: www.pirittamartikainen.com
Architecte: www.bgnt.ch

4. Aspects constructifs du béton de parement

4.6. Protection de surface et cosmétique du béton

Les surfaces en béton de parement peuvent être protégées des intempéries ou des déprédations (p. ex. graffiti) au moyen de différents systèmes.

4.6.1 Hydrofuge

L'emploi d'un hydrofuge permet de diminuer l'adhérence des gouttes d'eau à la surface et de réduire ainsi la pénétration d'eau dans le béton. Il en résulte une diminution de la migration de substances solubles dans l'eau des pores capillaires (hydroxyde de calcium) vers la surface lors du séchage du béton. La capacité de diffusion du béton n'en est toutefois pratiquement pas influencée.

Les hydrofuges sont généralement appliqués à la surface du béton et pénètrent de plusieurs millimètres dans le réseau poreux sans pour autant former un film continu qui obstruerait les pores. La structure de surface n'est donc pas modifiée. Ce traitement n'a pas pour but une modification de la couleur du béton, mais la brillance et la luminosité du support peuvent être légèrement modifiées.

Il est fortement recommandé d'appliquer un hydrofuge pour réduire le risque d'efflorescences dans le cas de bétons de parement usuels ou teintés exposés aux intempéries, en particulier si la couleur est foncée. On vérifiera l'efficacité et l'influence esthétique de l'hydrofuge à l'aide d'un élément d'essai. L'hydrofuge ne peut être appliqué que lorsque le béton est âgé d'au moins 28 jours et doit être renouvelé durant l'exploitation de l'ouvrage.

Des hydrofuges de masse, introduits directement dans le béton lors du malaxage, sont aussi disponibles sur le marché.

4.6.2 Glacis incolores et lasures

Les glacis et lasures sont des produits qui représentent d'autres mesures de protection d'un béton de parement. Leur utilisation se traduit par la formation d'un film continu sur la surface du béton, y compris les flancs des pores, mais ces derniers ne se trouvent que partiellement remplis. Selon la quantité appliquée, l'épaisseur du film varie entre 10 et 100 µm. L'effet protecteur contre la pénétration d'eau et de gaz est meilleur et plus durable que celui d'un hydrofuge. Le procédé diminue le risque d'efflorescences, améliore la durabilité face aux actions environnementales, protège des salissures et empêche la colonisation de la surface par des végétaux (algues, lichens, mousses, etc.).

Le glacis fait appel à une peinture incolore aqueuse à base acrylique, qui peut être appliquée en plusieurs couches. Après durcissement, elle engendre un aspect satiné de la surface et en éclaircit légèrement sa teinte. Lors de l'application d'une lasure, la solution transparente est généralement additionnée de pigments à raison de 2 à 8 pourcent, qui coloreront le béton en fonction de leur concentration, tout en laissant transparaître la peau

du béton. Afin d'éviter une accumulation ponctuelle de pigments, on conseille d'appliquer préalablement une couche de fond incolore.

L'application de ces produits devra être vérifiée à l'aide d'un élément d'essai. Les glacis et lasures ne peuvent être appliqués que sur un béton âgé d'au moins 28 jours.

4.6.3 Protection anti-graffiti

Les déprédations engendrées par les graffitis sauvages causent de nombreux soucis aux propriétaires d'ouvrages. La composition pigmentaire des sprays employés ne permet pas de les nettoyer facilement. De plus, dans le cas d'un béton de parement, il est techniquement difficile, et généralement non admis, de les cacher par une peinture couvrante. Il faut donc anticiper ces déprédations, pour en faciliter leur nettoyage, en prévoyant une protection anti-graffiti qui peut être de différents types:

- Les protections temporaires à base de cires, par exemple, sont appliquées préventivement et éliminées en même temps que le graffiti lors du nettoyage. Elles servent donc de couches «sacrifiées» et doivent être ensuite reconstituées sur les parties nettoyées. Ces couches ont l'avantage d'être très peu visibles et perméables à la vapeur d'eau, mais elles peuvent être sensibles aux intempéries.
- Les protections permanentes qui demeurent en place sans perdre leur efficacité même après plusieurs nettoyages. Ces produits offrent une excellente protection avec peu d'entretien, mais ils sont plus visibles que les protections temporaires.

Les protections anti-graffiti modifient généralement l'aspect d'un parement (fig. 39). Leurs effets sur les propriétés de la surface, sur sa teinte, son éclat et son comportement hydrique dépendent des spécificités du support en béton et du type de protection mis en œuvre. Il est donc fortement conseillé d'observer des objets de référence et de réaliser des éléments d'essai.



Fig. 39
Influence d'une protection anti-graffiti sur la teinte du béton (zone inférieure).

4.6.4 Cosmétique du béton

Malgré tout le soin apporté à l'exécution d'un parement, il arrive parfois que la qualité obtenue ne réponde pas à celle qui a été projetée. Ces défauts d'ordre esthétique peuvent découler des phénomènes suivants:

- apparition d'efflorescences
- variations de teinte (zébrures) entre les couches horizontales
- bullage prononcé en partie supérieure d'éléments verticaux
- décalages ou bavures entre panneaux de coffrage ou aux reprises de bétonnage
- fantôme de l'armature ou de gros granulats apparaissant en surface
- légère perte de laitance au droit des joints, des angles ou des écarteurs
- faibles remontées d'eau de ressuage le long du coffrage
- légères coulures de rouille sur les éléments verticaux
- traces de rouille sur les faces inférieures d'éléments horizontaux suite à des coulures sur le coffrage
- cassures d'arêtes vives durant le chantier
- légers nids de graviers, souvent situés en pieds de murs

Certaines méthodes permettent d'améliorer et de restaurer des éléments apparents non satisfaisants. Elles peuvent être mécaniques, impliquer des masticages ou l'application de lasure:

- ponçage
- reprofilage d'arêtes cassées, spatulage ou ragréage de zones défectueuses à l'aide d'un mastic plus ou moins grossier
- application d'une lasure afin de gommer les variations de teinte

Il est recommandé de réaliser systématiquement des planches d'essai. Il faut aussi être conscient que malgré toute l'habileté de l'exécutant, des détails réparés apparaîtront toujours comme tels. Il s'agit donc d'évaluer soigneusement le bien-fondé d'une intervention en fonction de chaque cas particulier.

5. Conditions climatiques

Des parements impeccables et réguliers sont attendus même en cas de conditions météorologiques difficiles.

Malgré tout le soin apporté à la conception et à la réalisation de l'ouvrage, son aspect peut être notablement altéré par des conditions climatiques défavorables (p. ex. fortes variations de température ou d'humidité entre le jour et la nuit, pluie, rosée ou givre) durant les jours qui suivent le bétonnage.

L'expérience montre que l'exécution en conditions hivernales favorise l'apparition de marbrures claires/foncées (fig. 40) et d'efflorescences (fig. 41), tandis que l'on obtient le plus souvent des résultats uniformes durant les mois d'été. A basse température, les processus d'hydratation du ciment sont ralentis et le béton présente plus longtemps une structure interne perméable aux mouvements d'humidité. A cela s'ajoute le fait, que contrairement au sucre, la solubilité de l'hydroxyde de calcium augmente à basse température. Le phénomène de transport d'hydroxyde de calcium par la solution interstitielle du cœur vers la surface du béton sera donc nettement accentué par temps froid. En cas de forte humidité, l'hydroxyde de calcium précipite en surface et non juste en dessous comme c'est le cas par temps sec. Il en résulte une structure de surface plus lisse, vitreuse et plus compacte, présentant des propriétés de réflexion de la lumière différentes. Ce phénomène de transport et précipitation étant entravé localement par la présence de granulats proches de la surface, il en résulte un effet de marbrures superficielles plus ou moins foncées.



Fig. 40
Marbrures claires et foncées dues à un bétonnage en conditions hivernales.



Fig. 41
L'élément décoffré par temps de pluie (à gauche) présente des efflorescences.

La fig. 42 reproduit schématiquement l'influence du climat sur l'apparence d'une surface de parement en fonction des conditions météorologiques propres au Plateau suisse. Les températures élevées et le gel doivent être évités. La température ambiante devrait être comprise entre 10°C et 25°C et l'on privilégiera les périodes offrant des conditions aussi stables que possible, sans grands écarts d'humidité relative.

La faible température ambiante, le contact avec des coffrages métalliques très froids et la présence d'agent de décoffrage prolongent la période dormante du béton de peau et ont tendance à rendre le béton instable. Ce phénomène peut se traduire par un accroissement d'humidité et des remontées d'eau le long du coffrage (fig. 43). Cet accroissement en eau peut aussi entraîner la formation de grosses bulles avec des bétons de consistance plus raide ou en cas de compactage insuffisant. Notons encore que des interruptions prolongées du bétonnage ont pour effet d'accentuer les traces de remontées d'eau le long du coffrage, car le bétonnage suivant l'interruption provoque une remontée rapide de l'eau de résuage des étapes précédentes. L'apparition du fantôme des armatures ou une empreinte modifiée du coffrage sur la surface peuvent aussi résulter d'un bétonnage par basse température.

Afin de pallier les effets négatifs de conditions météorologiques défavorables, des mesures telles que la prolongation du délai de décoffrage et la pose de nattes thermiquement isolantes doivent être envisagées (cf. paragraphe 3.5).

La présence d'eau sur l'ouvrage en service représente une des causes principales de dégradations du béton. Effectivement, un béton protégé de la pluie sera beaucoup moins sensible aux altérations engendrées par le gel, la carbonatation ou la réaction alcalis-granulats. L'humidité du béton en service joue aussi un rôle non négligeable sur l'esthétique des parements. Un béton protégé des intempéries présentera un très faible risque d'efflorescence, aucune apparition de mousse et aucune coulure d'eau chargée de poussières atmosphériques (salissures sombres). Pour les parements extérieurs, il importe donc de choisir un type de béton adapté, d'éviter les eaux stagnantes et d'évacuer les eaux de pluie de manière contrôlée (p. ex. gouttes pendantes, pentes suffisantes, étanchéité).

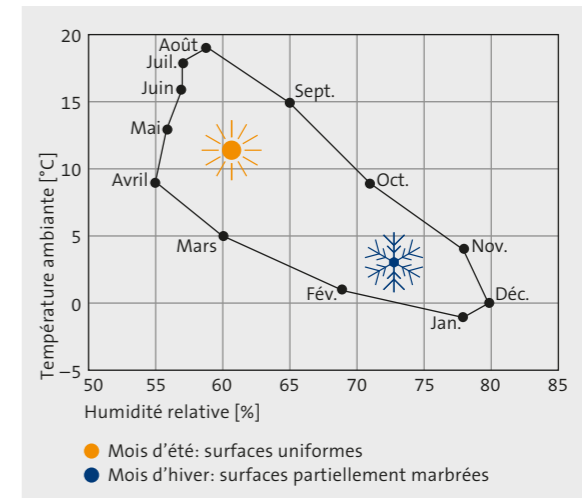


Fig. 42
Influence des conditions climatiques sur l'aspect des parements (température et humidité relative moyennes du Plateau suisse).



Fig. 43
Remontées d'eau le long du coffrage.

6. Béton de parement pour les planificateurs

Les exigences fixées par les planificateurs représentent la base fondamentale de l'évaluation d'un parement.

6.1 Projet

La vision architecturale, tout comme les exigences techniques d'un béton de parement, doivent être définies précisément par les concepteurs. Elles constituent la base du descriptif des prestations (cf. [2]):

- texture, bullage, teinte et planéité des surfaces
- exécution des joints et des arêtes
- classe de béton de parement et exigences correspondantes (cf. [2])
- type et peau de coffrage
- classe de traitement de cure
- fixation des critères d'évaluation
- détermination des éléments et surfaces de référence
- détermination d'essais préliminaires
- présentation des coûts au maître d'ouvrage

6.2 Soumission

En général, lors d'appels d'offres, le descriptif des prestations pour l'exécution de béton apparent est élaboré à l'aide du CAN 241 [6]. Le béton de parement y est défini comme un béton à propriétés spécifiées selon SN EN 206-1 (p. ex. béton NPK C). Les exigences complémentaires doivent mentionner qu'il s'agit d'un «béton de parement». Le cas échéant, cette exigence complémentaire doit être complétée par des croquis, la mention d'exemple de référence ou de prestations similaires.

Exemple de libellé d'un parement en béton:

- 062.100 **01** Béton selon norme SN EN 206-1
03 Type NPK C
04 Classe de résistance à la compression C30/37
05 Classes d'exposition XC4 (CH), XF1 (CH)
06 Diamètre maximal du granulat D_{max} 32
07 Classe de teneur en chlorures Cl 0.10
08 Classe de consistance C3
09 Exigences complémentaires:
 • béton de parement de classe SBK 2 selon cahier technique CT 02 de cemsuisse
 • ciment de type CEM II/B-M (T-LL) 42,5 N ou équivalent
 • classe de cure NBK 3
10 Divers:
 • réalisation préalable d'éléments de référence en accord avec le maître d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur selon Pos. XY de la série de prix (non inclus dans le prix du m³ de béton)

L'appel d'offres peut intégrer exceptionnellement des bétons à composition prescrite.

6.3 Éléments et surfaces de référence

La réalisation d'éléments de référence doit répondre aux objectifs suivants:

- représentation concrète des détails d'exécution
- rendu exact de la teinte, de la texture et des autres propriétés désirées
- réalisation dans les conditions spécifiques du chantier
- détermination et optimisation du mode d'exécution et formation des intervenants

- obtention d'une surface de référence acceptée par toutes les parties

Les éléments d'essais, de taille plurimétrique, doivent reproduire à l'échelle 1:1 la géométrie, les réservations, les incorporés, le ferrailage et l'enrobage de l'armature de l'ouvrage planifié. Ils doivent évidemment présenter la même peau de coffrage, huile de décoffrage et composition du béton que l'ouvrage. Idéalement, ces prototypes devraient être réalisés par le personnel qui sera chargé de l'exécution des bétons de parement.

La réalisation d'éléments d'essai est fortement recommandée pour la classe de béton de parement SBK 3 et recommandée pour la classe SBK 2 [2]. Pour la classe de béton de parement SBK 5, on ne réalisera des éléments d'essai que si le concepteur l'exige, tandis que la classe SBK 1 n'en nécessite généralement pas.

Une fois obtenue, la surface de référence remplissant toutes les exigences spécifiées, devra être acceptée formellement (p. ex. dans un protocole) par toutes les parties. L'élément d'essai devra être conservé jusqu'à la fin du chantier pour servir de référence contractuelle en cas de litige.

6.4 Evaluation

L'évaluation d'un béton de parement se base sur les prescriptions de l'appel d'offres et devrait tenir compte des paramètres suivants:

- L'inspection ne doit pas être effectuée juste après le décoffrage mais après un délai suffisant.
- Une reproduction parfaitement identique d'une surface n'est pas possible.
- De petites variations de texture et de teinte sont inévitables en pratique.

Les deux derniers points dépendent de nombreux paramètres non maîtrisables tels que: les conditions météorologiques, les variations normales et admissibles des matières premières et de la composition du béton, les fluctuations inhérentes à la peau de coffrage et aux agents de démoulage, des rotations du personnel, une mise en œuvre et un compactage légèrement différents, un timing de bétonnage faiblement variable ou une intervention d'autres artisans.

Lors de l'évaluation, l'impression d'ensemble prime généralement sur l'analyse des détails. Du point de vue pratique, on veillera au respect des critères suivants:

- Distance d'observation correspondant au recul entre l'utilisateur et l'ouvrage
- Evaluation des caractéristiques essentielles sur des surfaces représentatives de l'ouvrage
- Respect des spécificités conceptuelles
- Conditions d'éclairage normales (attention à l'éclairage rasant)
- L'aspect de surface du béton jeune étant susceptible d'évoluer, l'inspection ne doit pas être effectuée juste après le décoffrage mais généralement après un délai de 28 jours au minimum

L'ouverture admissible des fissures doit tenir compte de la distance d'observation de l'élément considéré (fig. 44).

La présence de fissures isolées, et d'ouverture contrôlée, est pratiquement inévitable et admissible tant qu'elles ne sont pas mises en évidence par un suintement d'eau, des efflorescences ou un traitement ultérieur de la surface. En revanche, un faïençage de la surface ou des fissures largement ouvertes (> 0,7 mm), révèlent un problème lié à la mise en œuvre (p. ex. cure tardive ou inefficace) ou à la conception (p. ex. saut de section, armature insuffisante, dilatation entravée) et sont en principe non admises.

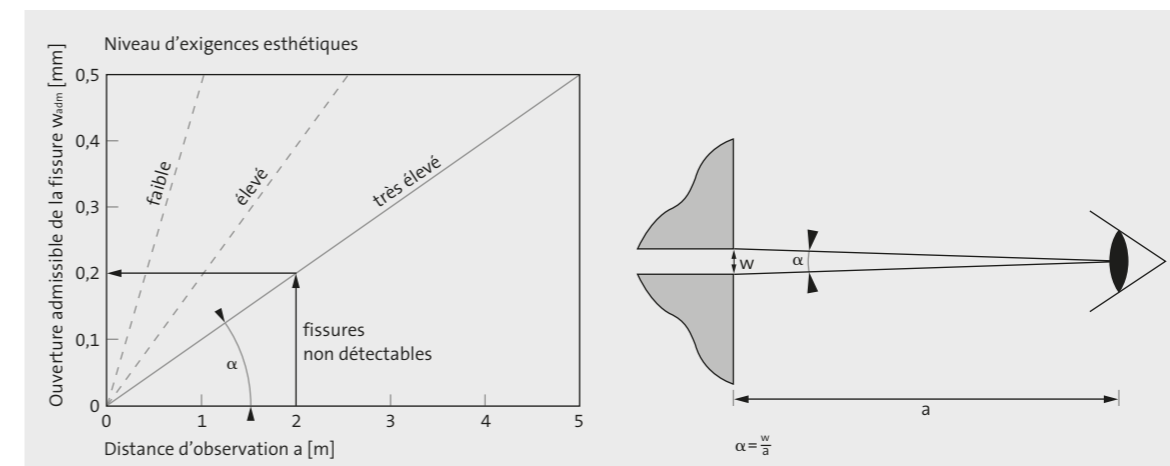


Fig. 44 Ouverture admissible des fissures en fonction du niveau d'exigences esthétiques et de la distance d'observation selon [12].

7. Bibliographie

- [1] SIA 118/262, Conditions générales pour la construction en béton (2004)
- [2] Bischof, S., Lunk, P. et al.: Cahier technique cemsuisse CT 02 «Béton de parement», éd. Betonsuisse, Berne (2012)
- [3] SIA 262, Construction en béton (2003)
- [4] SN EN 206-1, Béton – Partie 1: spécification, performances, production et conformité (2000)
- [5] SN EN 13670, Exécution des structures en béton (2010)
- [6] CAN 241/04, Construction en béton coulé sur place (2004)
- [7] SIA 414, Tolérances dimensionnelles dans la construction (1980)
- [8] SIA V414/10, Tolérances dimensionnelles dans le bâtiment (1987)
- [9] DIN 18202, Toleranzen im Hochbau – Bauwerke (2005)
- [10] SN EN 1008, Eaux de gâchage pour bétons – Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton (2002)
- [11] SN EN 12620, Granulats pour béton (2008)
- [12] Schubert, P.: «Mauerwerk – Risse und Ausführungsmängel vermeiden und instand setzen», Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2009)

Maison individuelle,
Lumino, TI





Holcim (Suisse) SA

Hagenholzstrasse 83

8050 Zurich

Suisse

Téléphone +41 58 850 68 68

Téléfax +41 58 850 68 69

marketing-ch@holcim.com

www.holcim.ch