

CHAPITRE 3 : LE BETON FRAIS

(p. 3)

Les surfaces lisses sont le plus souvent réalisées au moyen de panneaux de coffrage en multiplex ('bakélinisé' ou recouvert d'une couche en matière synthétique), ou de coffrages en acier. Le dessin des nervures des planches de bois brut constitue une texture 'classique'. Tout relief, dessin ou motif peut cependant être reproduit en caoutchouc-silicone. Cette doublure flexible sert de peau dans le coffrage.

(p. 4)

Les coffrages traditionnels en voliges sont de plus en plus souvent remplacés par des systèmes de coffrages. Ceux-ci sont réglables et moins déformables, ils demandent moins de main d'œuvre et d'étanchéage, ils entraînent moins de déchets et peuvent être réutilisés.

(p. 5)

Les coffrages perdus restent incorporés dans la construction après le durcissement du béton. Les éléments en béton préfabriqué sont les coffrages perdus les plus utilisés. Les formes en matière synthétique servent d'isolation thermique et/ou rendent la construction plus légère.

(p. 6)

Principe d'un coffrage glissant vertical. Pendant le coulage du béton, les parois du coffrage montent lentement dans un mouvement continu. Il n'y a donc pas de joints de reprise, contrairement au coffrage grim pant où le béton est mis en œuvre en étapes.

Dans le cas d'un coffrage glissant, la vitesse de bétonnage peut atteindre 6 m par 24 h. Les exigences en termes de rythme d'approvisionnement et d'ouvrabilité du béton sont toutefois très strictes.

(p. 7)

Exemples de coffrages glissants progressant horizontalement.

Derrière la machine à coffrages glissants – le 'slipform paver' – se trouve le 'super-smoother'. Il s'agit d'une poutre lisseuse qui se déplace transversalement suivant un mouvement régulier de va-et-vient.

(p. 8)

Exemples de coffrages utilisés dans la préfabrication.

Le béton pour pavés, blocs de maçonnerie, carreaux etc. est d'une consistance très sèche. Dès lors, ces produits peuvent être démoulés immédiatement. Par contre, les dalles, panneaux, poutres, colonnes sont décoffrés au moment où le béton a suffisamment durci.

Les moules qui doivent être réutilisés à plusieurs reprises, sont fabriqués en acier.

Les coffrages pour éléments en béton architectonique sont réalisés en bois, avec la même précision que pour la fabrication de meubles.

(p. 9)

Ces erreurs fréquentes peuvent être évitées aisément...

(p. 10)

Ces défauts peuvent aussi être évités facilement...

(p. 11)

La rigidité du coffrage et l'étanchéité des angles et des joints sont des critères d'autant plus importants que le béton est fluide (pression latérale plus forte dans la partie inférieure du coffrage).

(p. 12)

Les trous de tirants dans le béton durci permettent de serrer le coffrage de la couche suivante et d'éviter ainsi des fuites (figure du haut).

Les joints de reprise se détacheront probablement sur la surface après le décoffrage du béton. Le concepteur peut éviter ce désordre en subdivisant la surface suivant un certain module. Les joints de reprise peuvent être dissimulés au moyen de faux joints (figure du bas). De telle façon, les éventuelles légères différences de teintes entre coulées successives seront également perçues comme moins dérangeantes.

(p. 13)

Les produits de décoffrage empêchent que le béton n'adhère au coffrage. Les barres d'armature doivent rester exemptes de tout produit de décoffrage! Les coffrages seront donc traités avant la mise en place des armatures.

(p. 14)

L'humidification des voliges empêche que le coffrage n'absorbe l'eau de gâchage; de même, elle fait gonfler le bois avant le coulage, ce qui réduit le risque de fuite de laitance et de déformation des voliges pendant le coulage.

(p. 15)

Les coffrages traditionnels requièrent un étanchonnage dense.

(p. 16)

Depuis l'apparition de bétons très fluides – 'bétons auto-plaçants' ou 'self compacting concrete (SCC)' – ceci n'est plus un cas théorique !

(p. 17)

Les facteurs de réduction transformant la ligne droite théorique en une courbe, ne sont valables que pour un béton normal – plus précisément un béton à base de granulats et sable courants, de ciment Portland, mais sans adjuvant – et non pas pour un béton auto-plaçant!

(p. 18)

Soit un coffrage pour un mur de 30 cm d'épaisseur, une température du béton de 10°C, un étalement ('slump') de 75 mm, c.-à-d. une classe de consistance S2, et une vitesse d'ascension de 1,5 m par heure.

La pression dont il faudra tenir compte est la plus petite des 3 valeurs suivantes (voir figure):

- 65 kN/m² en partant du couple température-étalement (10°C, 75 mm);

- 50 kN/m² sur base de l'épaisseur du mur (30 cm);

- la pression hydrostatique maximale, c.-à-d. (h x 24) kN/m².

(p. 19)

Le principe de base du béton armé : le béton est capable de reprendre des contraintes de compression élevées, mais il a besoin d'une armature pour résister à des contraintes de traction.

Les barres sont ligaturées ou soudées pour former un ensemble rigide (treillis, cage). Ainsi l'armature peut être positionnée correctement dans le coffrage.

(p. 20)

Lors du transport et du montage, les éléments de plancher précontraints doivent être soulevés correctement, pour éviter qu'ils ne se cassent.

(p. 21)

Les fibres d'acier sont soit déversées de façon régulière sur la bande transporteuse, soit projetées dans le malaxeur ou dans le camion-mixer au moyen d'un vibro-éjecteur. Elles augmentent la ductilité du béton à l'état durci et réduisent ainsi l'ouverture des fissures.

Sur des sols industriels, l'application d'une couche de finition ('topping') peut être envisagée pour éviter des taches de rouille.

(p. 22)

Les fibres en matière synthétique limitent la formation de fissures dues au retrait plastique et ont donc indirectement un effet favorable sur la durabilité du béton durci.

(p. 23)

La norme NBN B15-002 indique l'enrobage minimum en fonction de la classe d'exposition.

Ecarteur = enrobage minimum + tolérance.

Les tolérances sont plus faibles dans le cas d'un béton préfabriqué : entre 0 et 5 mm.

(NB : Il existe également des réglettes pour assurer un enrobage continu.)

(p. 24)

Enrobage insuffisant : souvent le point névralgique...

(p. 25)

Dans un malaxeur-agitateur (fig. en haut à gauche), les pales se trouvent sur un axe vertical. Certains types disposent d'une cuve rotative. Les malaxeurs à auge (en haut à droite) ont une cuve double fixe et deux axes horizontaux pourvus de pales. La capacité des malaxeurs-agitateurs ou à auge est limitée, mais le malaxage – même de mélanges relativement secs – est très intense. Remplissage et vidange se font par des trappes.

Dans un malaxeur à tambour, les pales sont fixées à la cuve. Le malaxage se fait par gravité, le vidange par basculement du tambour et/ou inversion du sens de la rotation. La capacité de ce type de malaxeur est grande. Il est surtout utilisé pour des bétons à consistance plastique ou fluide.

(p. 26)

En fonction du type de malaxeur et du type de béton, différents ordres d'introduction sont possibles. Par exemple, d'abord les matériaux secs, ensuite l'eau. Ou bien, d'abord le sable, le ciment et l'eau, et ensuite les gros granulats...
Le temps de malaxage varie chaque fois, la vitesse de rotation des pales et/ou de la cuve doit être réglée.

(p. 27)

La norme impose les exigences suivantes pour le transport du béton par la route :

- durée (= entre l'ajout d'eau et le déversement du béton) : max. 100 minutes;
- température du béton : max. 30°C.

Camion-mixer : au moment de l'arrivée sur chantier, il est possible d'injecter des fibres et/ou un superplastifiant dans la cuve. (NB: La vitesse de rotation sera augmentée pendant cette opération.)

Camion-benne : uniquement pour des mélanges relativement secs. Par temps sec ou en cas de risque de pluie, la benne sera couverte d'une bâche.

(p. 28)

Une granulométrie continue et une teneur suffisante en matières fines (ciment + particules fines + sable 0,08/0,25) empêchent la ségrégation et diminuent le frottement ('graissage').

(p. 29)

Les gros granulats et le mortier n'ont pas la même inertie et se comporteront donc différemment au moment de l'impact contre les parois du coffrage, ou du déversement sur un plan incliné par exemple.

(p. 30)

Limitation de la hauteur de chute libre lors du déversement.

(p. 31)

Afin d'assurer l'adhérence du béton à la couche déjà durcie, la surface sera d'abord rendue rugueuse, ensuite nettoyée et enfin humidifiée. L'humidification empêche que la couche durcie n'absorbe une partie de l'eau de gâchage du mélange frais, ce qui compromettrait l'hydratation du ciment dans la zone de contact.

(p. 32)

Une paroi en béton ordinaire n'est pas bétonnée à partir d'un seul point fixe, mais en couches successives. Le béton peut également être déversé à des intervalles de distance réduits (de 1 à 1,5 m).

(p. 33)

Un béton fraîchement coulé n'est jamais compact et doit être serré.
(Exception : le béton auto-plaçant.)

(p. 34)

Matériel de compactage utilisé dans la construction des routes et pour les sols industriels.

Les poutres vibrantes, les plaques vibrantes et les 'hélicoptères' sont des vibreurs de surface. Leur efficacité en profondeur est limitée. Ils sont utilisés pour compacter des couches de 10 à 15 cm d'épaisseur.

Les mélanges secs, par exemple pour des fondations, sont serrés par cylindrage et vibration.

Un 'slipform paver' ou machine à coffrages glissants combine plusieurs techniques de compactage (aiguilles vibrantes, poutre vibrante...)

(p. 35)

Aiguille vibrante : principe du fonctionnement et mode d'emploi.

L'aiguille est enfoncée rapidement jusqu'à la profondeur exacte, puis retirée lentement.

Les zones vibrées doivent se recouvrir, tant horizontalement que verticalement.

(p. 36)

Aiguille vibrante : comment ne pas l'utiliser...

(p. 37)

Techniques de serrage dans le secteur du béton préfabriqué:

- colonnes, poutres : vibrateurs (hautes fréquences, faible amplitude)
- grands panneaux : tables vibrantes (basses fréquences, amplitude d'environ 1 mm)
- blocs, carreaux : compression et vibration simultanées (uniquement pour des mélanges très secs)

(p. 38)

Techniques de serrage dans le secteur du béton préfabriqué:

- tuyaux : laminage (axe horizontal ou vertical)
- poteaux, pylônes : centrifugation
- éléments de plancher alvéolés : extrusion

(p. 39)

L'eau peut quitter le béton fraîchement coulé ou au début du durcissement par succion du coffrage poreux, mais surtout par évaporation : jusqu'à 2 litres par m² et par heure, en cas de vent sec et d'ensoleillement direct !

Le retrait plastique du béton est comparable à celui d'une argile se desséchant.

(p. 40)

Ces mesures de précaution doivent empêcher le coffrage (ou le sous-sol) d'absorber l'eau de gâchage.

(p. 41)

(Figure en haut à gauche : il est en outre conseillé de couvrir le coffrage.)

Un 'curing compound' forme un film plus ou moins étanche à la vapeur d'eau. La teinte claire (pigmentation blanche du produit) reflète les rayons solaires et permet de visualiser quelles zones n'ont pas encore été traitées.

(p. 42)

En pratique une protection de 2 jours, même dans des conditions favorables, devient monnaie courante. Le moyen de protection utilisé importe peu.

(p. 43)

Béton frais : en fonction de l'intensité du gel, l'eau de gâchage gèlera jusqu'à une certaine profondeur. L'hydratation du ciment est interrompue. Le béton sera perdu.

Béton jeune : la résistance développée est trop faible pour que le béton puisse reprendre les contraintes de traction provoquées par la différence de température entre la surface et l'intérieur. La surface s'écaillera (phénomène de 'scaling').

(p. 44)

Durant les 3 jours suivant le bétonnage, la température de la surface exposée ne doit pas descendre en-dessous de 5°C.

L'hydratation du ciment dégage de la chaleur. Mais celle-ci ne suffit pas toujours. Exceptionnellement, outre les mesures reprises dans la figure ci-dessus, il peut s'avérer nécessaire de préchauffer l'eau de gâchage (et éventuellement les granulats).

(p. 45)

L'ouvrabilité est un phénomène évolutif dans le temps qui prend fin au moment de la prise du ciment (ligne noire). Cette évolution est fonction de la température du mélange et du type de ciment, les deux étant interactifs.

L'utilisation d'adjuvants permet de modifier sensiblement le processus : accélérateurs, retardateurs, plastifiants et superplastifiants.

(p. 46)

Soit une teneur en ciment de 300 kg/m³ et une classe de consistance S2. Comment augmenter l'ouvrabilité ?

- 1^{ère} option : ajouter 30 litres d'eau. L'ouvrabilité passe de S2 à S3. Le rapport E/C augmente toutefois de 0,1 d'où une chute de résistance de 10 N/mm². Pour maintenir le rapport E/C, il faut ajouter 50 kg de ciment et en même temps réduire la teneur en sable.

- 2^{ème} (et meilleure) option : ajouter un adjuvant. Le rapport E/C ne change pas, l'ouvrabilité montera :

- d'une classe (de S2 à S3), par l'ajout d'un plastifiant;
- de 2 classes (de S2 à S4), par l'ajout d'un superplastifiant.

(p. 47)

La ségrégation peut être entraînée par une mauvaise composition du béton (par ex. trop d'eau de gâchage), un transport inadéquat (par ex. transporter un béton plastique en camion-benne sur une longue distance), ou encore une mise en œuvre inadéquate (par ex. pompage d'un béton non prévu à cet effet).

La ségrégation n'affecte pas seulement la structure du matériau (retrait, fissures...), mais également son aspect.

(p. 48)

La courbe granulométrique ne doit pas présenter de discontinuités (lacunes entre les différentes fractions). Plus le D_{max} diminue, plus le besoin en fines croît : pour un D_{max} descendant de 30 à 10 mm, la teneur minimum en fines grimpe de 350 à 500 kg/m³.

(NB: fines = ciment + cendres volantes + fillers...)

Les entraîneurs d'air et les rétenteurs d'eau sont des exemples d'adjuvants utilisés pour améliorer la stabilité du mélange frais.

(p. 49)

Le béton est un matériau qui 'mûrit' au fil du temps et en fonction de la température. Il a été convenu de prendre comme valeur-repère la résistance à la compression à 28 jours, mesurée sur des échantillons conservés à 20 °C et au moins 90 % d'humidité relative (H.R.). La norme NBN B15-002 indique une méthode pour estimer – par type de ciment – la résistance à la compression à un autre âge (coefficient β_{cc}) et une autre température du béton (facteur de correction). Dans l'exemple, l'âge 'adapté' a été calculé pour un ciment CEM I 42,5 R et après 3 périodes de températures moyennes différentes : 16 jours de 8 °C, suivis de 7 jours de 20 °C et enfin 5 jours de 25 °C. L'âge réel est de 28 jours, l'âge adapté seulement de 22 jours...

(p. 50)

En accélérant la prise du ciment, la résistance à la déformation et à des sollicitations menaçantes du béton est déjà mieux développée à un stade initial.

L'hydratation du ciment dégage de la chaleur. Celle-ci active à son tour le processus d'hydratation. Pour accélérer la prise du ciment, le béton sera donc chauffé de manière contrôlée, ou protégé contre le refroidissement.

(p. 51)

Bétons durables... la protection au jeune âge est essentielle!