

Bétons spéciaux

Selon la nature de l'ouvrage à réaliser et les contraintes effectives à chaque situation, on peut effectivement être amené à utiliser plusieurs types de béton.

1. Béton à haute performance (BHP)

Cette nouvelle génération de bétons, plus compacts, se caractérise par une durabilité accrue et une (très) haute résistance (à 28 jours) : à partir de 50 MPa (contre 30/35 MPa pour un béton traditionnel) et un rapport E/C <0.4.

1.1. Domaine d'application

- ✓ Ouvrages d'art - Génie Civil et nucléaire (Ponts, tunnels, voussoirs, ouvrages fortement sollicités, poutres, enceintes, galeries techniques, ouvrages hydrauliques...)
- ✓ Bâtiments - Immeubles de grandes hauteurs - Parkings - Equipements sportifs (Eléments de structures (poutres, poteaux, murs porteurs...))

1.2. Avantages

L'utilisation du BHP soulève plusieurs avantages :

- ✓ Les bétons à hautes performances permettent de réduire les sections des éléments porteurs et ainsi d'augmenter les surfaces exploitables (bureaux, parkings...).
- ✓ L'allègement des ouvrages diminue les quantités de matériaux, ce qui relativise le coût du m³ de béton de hautes performances.
- ✓ La facilité et la rapidité de mise en œuvre augmentent la productivité du chantier.
- ✓ La prise et le durcissement plus rapides accélèrent la rotation des coffrages.
- ✓ Le maintien de la rhéologie pendant 1h30 est assuré grâce à l'emploi de superplastifiants.
- ✓ La fluidité importante permet d'assurer un bon remplissage des ferraillements denses.

1.3. Caractéristiques

Résistances caractéristiques à 28 jours, mesurées sur éprouvettes cylindriques, supérieures à 50MPa. • Consistance S4 (affaissement au cône d'Abrams de 160 à 210 mm).

- Pompable.
- Résistances élevées au jeune âge.
- Compacité optimale (faible rapport E/C).
- Durabilité exceptionnelle.
- Forte résistance à l'abrasion.
- Faible retrait limitant la fissuration.
- Fluage plus faible que celui d'un béton courant.

1.4. Eléments de formulation

Exemple de formulation type BHP

CEM I - 52,5: 385 kg/m³

Fumée de silice: 30 kg/m³

Sable 0/5: 690 kg/m³
Gravillon 4/12: 220 kg/m³
Gravillon 10/20: 940 kg/m³
Eau efficace: 130 kg/m³
Superplastifiant: 7 kg/m³
Résistance à 28j: 87MPa
Résistance 7j: 75MPa

2. Béton Autoplaçant

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité. Grâce à leur formulation, ils offrent des caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages tout en résistant parfaitement à la ségrégation. Homogènes et stables, ils présentent des résistances et une durabilité analogues à celles des bétons traditionnels dont ils se différencient par leurs propriétés à l'état frais. La fluidité du BAP permet sa mise en place aisée par pompage.

2.1. Domaine d'application

De nombreux produits préfabriqués sont actuellement couramment réalisés en BAP aussi bien en bâtiment qu'en travaux publics :

- panneaux et voiles verticaux : panneaux de façade, encadrements de portes et fenêtres, encadrements de baies;
- éléments de structure: poteaux précontraints, poutres, poutrelles, poutrelles treillis pour plan-cher béton, dalles, appuis, pré linteaux, caissons précontraints, longrines;
- assainissement: cunettes, fond de regard, cuves et citernes;
- éléments pour le génie civil: bordures, glissières de sécurité, gradins, fossés ;
- éléments pour piscines, caveaux, socles de machines outils, buses rectangulaires, acrotères, corniches.

2.2. Avantages

Les architectes et les maîtres d'œuvres ont toujours recherché dans un béton plusieurs critères

- une mise en place aisée;
- un bon remplissage des coffrages et des moules;
- un parfait enrobage des armatures;
- une forte compacité.

Avec comme principaux objectifs:

- la suppression des opérations coûteuses en main d'œuvre (vibration...)

- l'obtention d'une qualité, d'une régularité et d'une durabilité des bétons encore plus grandes ;
- le coulage facilité de structures complexes et souvent fortement ferraillées;
- l'allongement des temps d'ouvrabilité;
- l'amélioration de la qualité esthétique des parements;
- l'augmentation des cadences de production et de la productivité des chantiers et des usines;
- la réduction de la pénibilité des tâches des ouvriers ;
- la réduction des nuisances sonores sur les chantiers ;

2.3. Éléments de formulation

Les BAP sont formulés de manière à obtenir le compromis optimal entre fluidité et résistance à la ségrégation et au ressuage. Ils offrent une plus grande qualité esthétique des parements.

La formulation des BAP fait appel à:

Des superplastifiants pour obtenir la fluidité souhaitée et quelques fois des agents de viscosité pour maîtriser la ségrégation et le ressuage;

Une quantité de fines (ciments, fillers calcaires, cendres volantes) élevée pour assurer une bonne maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage ($\sim 500 \text{ kg/m}^3$) ;

Un volume de pâte élevé ($350 \text{ à } 400 \text{ l/m}^3$),

Un faible volume de gravillons afin d'éviter le « blocage du béton » dans les zones confinées (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 voire inférieur). Les granulats ont en général un D_{max} compris entre 10 et 16 mm afin d'améliorer l'écoulement ;

Du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées);

Un rapport E/C faible et un dosage en eau limité ; – éventuellement un agent entraîneur d'air pour assurer la protection contre les effets du gel-dégel.

L'optimisation du squelette granulaire est indispensable pour obtenir les caractéristiques nécessaires à la fluidité et à l'écoulement en milieu confiné.

2.4. Essais de caractérisation de BAP

2.4.1. Essai d'étalement

C'est l'essai au cône d'abrams qui permet de donner une indication sur la mobilité du béton en milieu non confiné. A travers cet essai on obtient l'étalement (SF) (sulmp flow). Le calcul de SF et de mesurer le diamètre de la galette obtenir suite au soulèvement du cône d'abrams

après un temps suffisamment long. L'étalement est fonction du seuil d'écoulement du béton, contrainte minimale au dessous de laquelle le béton ne s'écoule pas. Les valeurs d'étalement préconisés pour un BAP (NF EN 206-1) se situent entre 60 cm et 80 cm. Ainsi trois classes d'étalement ont été définies.

SF1 l'étalement compris entre 55 et 65 cm,

SF2 l'étalement compris entre 66 et 75 cm,

SF3 l'étalement compris entre 76 et 80cm.



Figure 1. Essai d'étalement au cône d'Abrams

2.4.2. Essai J- RING

Il est aussi appelé : essai d'étalement modifié. On utilise à nouveau le cône d'Abrams mais renversé, il permet de caractériser la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocages inacceptables. Le cône est placé sur une plaque plane, entourée par un anneau de 300 mm de diamètre, équipé de 16 barres HA de diamètre 16 mm figure 16. Une fois le cône rempli, on soulève, ce qui laisse écouler le béton à travers les barres HA, on mesure en fin d'essai le diamètre de la galette obtenue. Un second paramètre peut être tiré du même essai : le temps mis par le béton pour dépasser le diamètre de 500 mm T50 en secondes.



Figure 2 . Essai J-Ring

2.4.3. Essai de la boîte en L (L-box test)

Cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique.

La partie verticale du L Figure 17 est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres Ø 12) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres). Après écoulement, on mesure la hauteur dans la partie verticale (H1) et celle de la partie horizontale (H2) et on calcule le taux de remplissage final (H2/H1). Une valeur de ce rapport supérieure à 0.8 traduit un bon écoulement du BAP en milieu confiné. La viscosité du BAP en milieu confiné peut être mesurée par le temps d'écoulement.



Figure 3. L- Box

2.4. 4.Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel »

Cet essai permet une évaluation qualitative du béton autoplaçant : il caractérise la capacité de passage du béton à travers un orifice. L'entonnoir existe en dimensions différentes, et il est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. Le plus souvent, la partie inférieure de l'entonnoir est rectangulaire de dimensions 7,5 cm x 6,5 cm. Elle est équipée d'une trappe.

L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçu l'orifice. Le béton autoplaçant doit s'écouler avec une vitesse constante, un simple changement de vitesse de l'écoulement est un signe de blocage, donc de ségrégation dans le béton. Cet essai permet aussi d'évaluer la viscosité du béton lors de l'écoulement, pour des bétons de même étalement au cône d'Abrams par exemple, la viscosité est d'autant plus élevée que la durée de l'écoulement à l'entonnoir est longue.

Le temps d'écoulement du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes. Quelques recommandations visent un temps compris entre 5 secondes et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante taux de remplissage et le temps d'écoulement du béton.

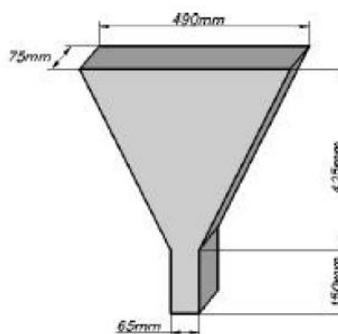


Figure 4. Essai V-Funnel

3. Béton à ultra hautes performances (BUHP)

Les BFUP sont des matériaux à structure micrométrique présentant un fort dosage en ciment et en adjuvants, des granulats de faible dimension et une porosité réduite. Ils présentent une durabilité et une résistance exceptionnelles (de 130 à 250 MPa en compression/de 20 à 50 MPa en traction par flexion) qui permet de se passer d'armatures passives dans les éléments structurels. Les BFUP se caractérisent également par :

- une très grande ouvrabilité leur conférant souvent un caractère auto-plaçant
- une résistance très importante aux agressions
- des aspects de parements esthétiques et une texture de parement très fine

3.2. Domaine d'application

Les nombreuses qualités des BFUP, permettent d'envisager une multitude d'applications aussi bien en structure de génie civil (poutres précontraintes par pré ou post tension, canalisations, conteneurs, ouvrages offshore, couvertures de grande portée, silos, réservoirs, cuves de rétention, tours de refroidissement, murs de soutènement, dalles, structures triangulées, etc.) qu'en bâtiment (poutres, poteaux élancés, planchers de grande portée, etc.).

3.3. Avantages/Caractères généraux

Ces bétons offrent des performances exceptionnelles :

- une très grande ouvrabilité ;
- des résistances caractéristiques à la compression à 28 jours très élevées comprises entre 130 et 250 MPa, ainsi qu'à la traction (valeur comprise entre 5 et 12 MPa);
- de hautes résistances à court terme (24 heures);
- des résistances mécaniques au jeune âge très élevées ;
- une compacité très importante;
- une durabilité exceptionnelle (ce qui permet de les utiliser dans des environnements très agressifs) ;
- une ductilité (déformabilité sous charge sans rupture fragile) importante ;
- une ténacité (résistance à la micro-fissuration) élevée ;
- un retrait et un fluage très faible;
- une dureté de surface très importante ;

- une grande résistance à l’abrasion et aux chocs,
- une faible perméabilité ;
- des aspects de parements particulièrement esthétiques et une texture de parement très fine;
- une optimisation des frais de maintenance et d’entretien des ouvrages ;

3.4. Eléments de formulation

<i>Exemples de formulations de BFUP (pour 1 m³)</i>					
<i>Ciment</i>	<i>Sable fin</i>	<i>Quartz broyé</i>	<i>Fumée de silice</i>	<i>Fibres métalliques</i>	<i>Adjuvant (extrait sec)</i>
710 kg	1020 kg	215 kg	230 kg	160 kg	10 kg
1075 kg	1030 kg	—	160 kg	220 kg	35 kg

4- Bétons de granulats légers

4.1. Définition :

Béton dont la masse volumique est comprise entre 300 et 1 800 kg/m³ (au lieu de 2 300 kg/m³ pour un béton courant), soit par une formulation recourant à des granulats légers, Les bétons légers permettent de réaliser un gain de poids pour l'ouvrage auquel ils sont destinés. Ils sont également utilisés pour l'isolation thermique, la conductivité variant dans le même sens que la densité. **La résistance** d'un béton léger est **très inférieure** à celle d'un béton traditionnel. Pour les densités les plus basses, il ne peut être question de béton "structurel" mais seulement de béton de "remplissage". Ces bétons légers possèdent un pouvoir isolant sur le plan thermique et acoustique.

4.2. Composition des bétons légers

Les bétons légers sont obtenus en jouant sur la composition (bétons caverneux) ou sur l'emploi de granulats allégés (des billes de schistes expansés, d'argiles expansés ou de polystyrène, voire des particules de bois remplacent les gravillons habituels).

5. Bétons lourds

5.1. Définition : Il s'agit d'un béton dont la masse volumique dépasse 3000 kg/m³ et peut atteindre 6000 kg/m³ (contre 2300 kg/m³ pour un béton courant), grâce à l'usage de granulats très denses (barytine, magnétite, hématite).

5.2. Domaines d'applications: Les bétons lourds et très lourds sont utilisés notamment dans les domaines suivants :

- Protection contre les rayonnements nocifs (centrales nucléaires, salles de radiologie...).

- Protection contre les explosions (salles anti-déflagrantes)

Exemple:

Sulfate de baryum SO_4Ba c'est une matière opaque plus ou moins blanche sa densité moyenne est de 4.5.

La magnétite: c'est un minerai à base d'oxyde de fer (Fe_2O_3) dont la densité varié de 4 à 5.

6- Bétons réfractaires

Les bétons classiques, confectionné avec des ciments courants, en général ne résistent pas à des températures sup à $300^{\circ}C$. Lorsque la température excède cette valeur les bétons soumis à la chaleur doivent être confectionnés avec des ciments alumineux (comportent un taux d'alumine Al_2O_3 plus élevé supérieure à 40%) et suivant les granulats utilisés il est possible de réaliser des bétons résistant jusqu' à $2000^{\circ}C$, le dosage doit être de 400 kg/m^3 de ciment et le rapport Eau/ciment de 0,40 au maximum.

Ils sont généralement utilisés dans les milieux industriels (pour réaliser des parois intérieures de fours ou des cheminées par exemple).

Type de granulats:

- basalte
- granit
- laitier de haut fourneau

7- Béton Projeté

7.1. Définition : L'appellation «béton projeté » se réfère à un procédé de mise en œuvre qui consiste à amener le béton ou le mélange sec sous pression dans un tuyau ou une conduite jusqu'au lieu de mise en place, où il est projeté violemment contre la surface d'application.

Cette technique est très utilisée pour la réfection des dessous de dalles de béton et des surfaces verticales sans l'utilisation des coffrages. Le béton se compacte de lui-même grâce à l'effet d'impact. Ainsi, à l'inverse des bétons courants qui doivent être mis en place, puis être vibrés ultérieurement,

7.2. Domaines d'utilisation

- Réfection d'ouvrage de béton tels que ponts, viaducs, barrages, réservoirs, tunnels de métro, structures marines et stationnements multi-étagés;
- Réfection et recouvrement de conduites d'aqueducs, d'égouts pluviaux et d'égouts sanitaires;
- Nouvelles constructions tels que stabilisations de pentes, revêtements de parois de tunnel, piscines et toutes autres constructions de béton.

7.3. Avantages

- Capacité de projeter une épaisse couche dès le premier passage sur paroi verticale ou en surplomb;
 - Excellente résistance au lessivage;
 - Faible retrait;
 - Très faible perméabilité;
-
- Résistance élevée aux attaques des sulfates

7.4.Composition

Le mélange de béton projeté pré-ensaché pour l'application par voie sèche est souvent utilisé. Le mélange contient du ciment Portland, de la fumée de silice, un agent entraîneur d'air, du sable et de la pierre ainsi que d'autres additifs soigneusement choisis.

Propriétés du béton à l'état frais

1. Béton frais

Possède une propriété bien particulière : son ouvrabilité. Cette caractéristique constitue un atout majeur du matériau en terme de mise en œuvre.

L'ouvrabilité est, en effet, la capacité du béton à pouvoir être mis en œuvre facilement (remplissage des coffrages et enrobage des armatures) : elle caractérise, avant que le matériau ne durcisse, la fluidité du béton.



Figure1 : Essai d'affaissement

2. Mesure de l'ouvrabilité du béton

Une des grandeurs définissant l'ouvrabilité est la consistance. Elle peut être mesurée facilement par un essai d'affaissement en utilisant le cône d'Abrams, du nom de son inventeur ou "Slump test".

En mesurant la hauteur d'affaissement après le démoulage du cône, on obtient une indication sur l'ouvrabilité du béton, plus la hauteur d'affaissement est importante, plus le béton est fluide.

La norme EN 206 retient plusieurs types d'appareils pour la mesure de la consistance du béton frais:

- Cône d'Abrams
- Essai d'étalement à la table à secousses
- Maniabilimètre LCPC

3. Ségrégation du béton

La ségrégation se définit comme étant la séparation des constituants d'un mélange hétérogène (perte d'homogénéité) produisant ainsi une distribution non uniforme de ces constituants dans un volume donné.

Dans le cas du béton, on distingue habituellement 2 causes de ségrégation soit:

- une mauvaise formulation du béton;
- une mauvaise technique de mise en place du béton.

Au-delà de la mise en œuvre, la ségrégation compromet l'esthétique des ouvrages, leur homogénéité mécanique et leur durabilité.

En particulier, des accumulations localisées de gravillons conduisent à des différences de déformabilité (par exemple, de retrait), les zones les plus riches en granulat étant les moins déformables; il s'ensuit souvent des fissures.



Figure 2 : ségrégation du béton

4. Ressuage du béton

Le ressuage est un type spécial de ségrégation où les particules solides ont un mouvement général inverse à celui du liquide.

En fait, pendant la période dormante du béton, les particules solides qui sont plus denses que l'eau sédimentent. L'eau est ainsi chassée vers le haut dans le cas de coffrages imperméables.

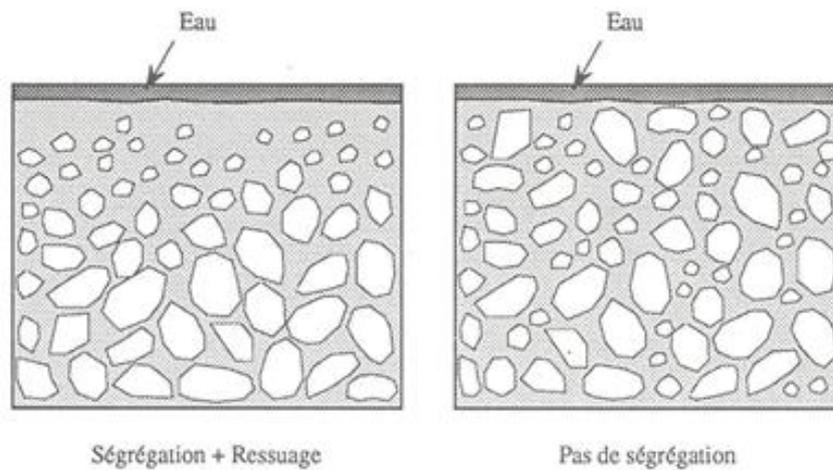


Figure 3: représentation schématique de la ségrégation et ressuage

Au niveau visuel, le ressuage s'observe par une mince pellicule d'eau à la surface du béton. Selon les conditions météorologiques, on assiste à une compétition entre le débit d'eau ressuée et le débit d'eau évaporée.

Si l'eau évaporée est plus faible, le phénomène de ressuage est visible. La quantité d'eau ressuée sera de toute façon égale à la quantité d'eau stagnante ajoutée à celle déjà évaporée.

Globalement, la vitesse de ressuage diminue avec :

- ✓ l'augmentation du temps de malaxage ;
- ✓ l'augmentation de la vitesse de rotation des pales du malaxeur ;
- ✓ la diminution du temps d'introduction de l'eau de gâchage.

En ce qui concerne les paramètres intrinsèques au matériau, l'amplitude et la vitesse de ressuage augmentent si :

- le dosage en eau est augmenté ;
- le dosage en fine est diminué l'on choisit un ciment à surface spécifique moindre

5. Retrait plastique

Lors du développement de l'hydratation, des changements volumétriques apparaissent. Le plus important est celui de la réduction de volume du système «eau+ciment»; alors que la pâte

à l'état plastique, subit une contraction volumétrique de l'ordre de 8 à 10% du volume absolu du ciment sec.

$$V_{\text{hydrates}} = 0.9 (V_{\text{ciment anhydre}} + V_{\text{eau}})$$

Cette contraction est connue sous le nom de retrait plastique parce que le béton est encore à l'état plastique.

Si la quantité d'eau perdue par unité de surface excède largement la quantité d'eau apportée à la surface par le ressuage, des fissures de surface peuvent apparaître.

On dira alors que le béton présente une fissuration de retrait plastique.

6. Influence de la composition

En ajustant la composition des bétons (principalement par l'emploi d'adjuvants), il est possible de modifier la consistance du béton ainsi que la durée pendant laquelle le béton reste "ouvrable".

La formulation d'un béton doit aboutir à un béton qui possède la plus grande ouvrabilité, le plus faible frottement interne avec la quantité d'eau minimum. Cette aptitude du béton à la déformation est aussi traduite par les termes consistance et maniabilité.

7. Fabrication et mise en œuvre

Comme tout matériau le béton doit fabriqué et mis en œuvre selon des règles de l'art précises afin d'offrir pour des qualités optimales.

7.1. Préparation

Le béton est un mélange à froid de matériaux naturels : ciment, granulats (sables ou gravillons), eau et éventuellement des adjuvants. Ce mélange durcit au bout de quelques heures.

L'étude de formulation ayant défini les proportions des différents constituants du béton pour atteindre le niveau de performance recherché, ces constituants sont dosés de manière pondérale (de préférence) ou volumétrique, puis malaxés généralement pendant 1 à 3 minutes en fonction du type de matériel et de la nature du béton. On distingue deux techniques de fabrication du béton :

7.1.1 Fabrication en centrale

Le béton est généralement fabriqué dans des centrales de Béton Prêt à l'Emploi (BPE), dans des centrales de chantiers installées sur le site, ou dans des usines de préfabrication. Ces centrales utilisent du ciment livré en « vrac », c'est à dire dans des camions citernes de 25 tonnes. Certaines centrales sont livrées par péniches.

7.1.2 Fabrication en bétonnière

Pour de petits chantiers où les caractéristiques de résistance ne sont pas importantes, le béton peut être fabriqué dans des bétonnières, le ciment étant dans ce cas approvisionné en sacs de 50 kg.

8. Transport

Le béton est généralement transporté entre le lieu de fabrication et le chantier par des camions malaxeurs, appelés « toupies ». Les camions malaxeurs peuvent avoir des volumes variant entre 4 et 8 m³. Ils sont équipés d'un réservoir tournant sur lui-même (d'où le nom de toupie). Cette rotation est indispensable pendant le transport.

Le temps de transport est limité à 1h30 sauf si des produits retardateurs de prise ont été ajoutés au béton au moment de la fabrication en centrale.

Les rajouts d'eau à l'arrivée sur le chantier sont interdits.

Une fois le camion arrivé sur chantier on utilise différentes techniques, suivant les possibilités d'accès aux coffrages : goulottes, bennes, tapis ou pompes à béton. Le pompage du béton offre une grande productivité, la mise en place de quantités importantes en une seule coulée, et la possibilité d'assurer l'approvisionnement sur des sites d'accès difficiles



Figure 2 : Mise en place du béton à la goulotte



Figure 3 : pompage du béton

9. Mise en œuvre

La mise en œuvre du béton est une opération très importante, dont dépendent en grande partie la réussite d'un ouvrage et sa pérennité dans le temps. Il convient donc d'y apporter un soin particulier et de prendre en compte tous les paramètres techniques et climatiques. De la sortie du malaxeur à l'ouvrage fini, le béton passe par différentes phases : transport, coulage dans un coffrage ou un moule, vibration, maturation, démoulage et cure. Ces différentes phases impliquent le recours à des techniques devant respecter des règles d'exécution, appelées « règles de l'art ».

8.1. L'approvisionnement du béton

Il faut : éviter les chocs ou les manœuvres brutales pouvant entraîner la ségrégation du béton, prévoir un temps de transport compatible avec le temps de début de prise du béton et par temps froid, protéger le béton contre le gel.

8.2. La mise en place du béton

Les coffrages doivent être : suffisamment rigides et indéformables pour supporter la poussée du béton frais et étanches pour éviter des fuites de laitance. Ils doivent être nettoyés et traités avec un produit démoulant adapté avant chaque utilisation. Les armatures doivent être correctement calées et positionnées. La hauteur de chute du béton doit être limitée pour éviter les risques de ségrégation ; la vitesse de bétonnage aussi constante que possible.



8.3. La vibration du béton

Elle est indispensable pour obtenir des bétons présentant de bonnes caractéristiques mécaniques et des parements de qualité.

8.4. Le bétonnage par temps chaud ou par temps froid

Par temps chaud, pour éviter la dessiccation du béton, il convient de limiter la température du béton frais et de protéger le béton par une cure adéquate. On utilisera de préférence un ciment à faible chaleur d'hydratation.

Par temps froid, en dessous d'une température de 5 °C la prise du béton est quasiment arrêtée, et en dessous de 0 °C, le béton risque de geler. Dans ce cas, il est possible de réchauffer l'eau de gâchage ou les granulats ou de chauffer le béton ou de calorifuger les coffrages. On utilisera de préférence un ciment à durcissement rapide.

9. Vibration

La vibration est indispensable pour obtenir des bétons présentant de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques et une bonne compacité.

9.1. Rôle de la vibration

La vibration appliquée au béton frais permet de favoriser l'arrangement des grains constituant le béton (les grains s'imbriquent les uns dans les autres et laissent le moins de vide possible). Sous l'effet de la vibration, le béton est comparable à une sorte de liquide visqueux, ce qui permet une meilleure mise en place dans les coffrages, un parfait enrobage des armatures et de garantir



une compacité optimale.

Les effets de la vibration sur le béton frais se traduisent pour le béton durci par des caractéristiques améliorées : porosité réduite, meilleur retrait diminué et enrobage plus efficace des armatures.

Seul un béton très compact possède de bonnes caractéristiques de résistance.

9.2. Matériels de vibration

Deux catégories principales :

- les vibrateurs internes, qui agissent directement sur le béton par pervibration, aussi appelés aiguilles vibrantes, ils sont constitués par un tube métallique dans lequel la rotation d'une masse excentrée provoque la vibration.
- les vibrateurs externes, qui agissent sur le béton par l'intermédiaire d'un coffrage ou d'une poutre.

9.3. Règles de la vibration

Le temps de vibration nécessaire est lié aux caractéristiques du béton, au volume à vibrer et à la densité de ferrailage. De manière empirique, on peut dire qu'il faut arrêter la vibration quand le béton cesse de se tasser, le dégagement de bulles d'air s'arrête où la surface se couvre d'une mince couche de laitance.

Le temps de vibration varie en général de trente secondes à deux minutes.

10. Cure du béton

Cure du béton est la protection mise en œuvre pour éviter une dessiccation de surface du béton et lui assurer une maturation satisfaisante.



10.1. Rôle de la cure

Lors du durcissement du béton, et particulièrement quand les conditions atmosphériques sont défavorables (vent, soleil, hygrométrie faible) il convient d'éviter que l'eau du béton ne s'évapore avant d'avoir hydraté l'ensemble des grains de ciment. Cette cure est particulièrement nécessaire pour les dalles et les chaussées, qui offrent une grande surface favorisant l'évaporation.