

2.5 Les bétons : fabrication et transport

2.5.1 - La fabrication du béton

Avant d'aborder la fabrication du béton, il n'est pas inutile de rappeler qu'il s'agit d'un matériau obtenu en mélangeant un ensemble de constituants présentant des états et des caractéristiques très différents :

- un liant: le ciment, poudre d'une très grande finesse ;
- des granulats de forme et de densité variées ;
- un liquide: l'eau de gâchage ;
- éventuellement des adjuvants soit liquides, soit en poudre.

L'air qui se trouve enfermé dans le béton frais lors de sa fabrication, joue un rôle non seulement sur sa plasticité, mais également sur ses déformations et ses propriétés finales.



Centrale BPE.

■ Un matériau homogène

Pour élaborer un béton, matériau homogène, il faut tenir compte au cours des phases de fabrication et de transport, de l'homogénéité de ses constituants. Il faut aussi réaliser un mélange efficace, qui ne puisse pas subir ensuite de ségrégation ou de décohésion.

Parmi les facteurs influant sur l'homogénéité du mélange béton, on peut notamment souligner :

- la régularité de chaque constituant: les données retenues pour fixer les paramètres de dosage ou de mélange ne doivent pas être remises en cause par d'éventuelles variations de ceux-ci ;
- la détermination d'une composition de béton tenant compte de sa destination et des constituants utilisés: type et classe de ciment, nature et granularité des granulats, adjuvants ;
- la teneur en eau ;
- le type de matériel utilisé pour le malaxage ;
- le temps de malaxage ;
- les conditions et temps de transport du béton entre sa fabrication et sa mise en œuvre.

■ La fabrication

Les méthodes de fabrication du béton sont adaptées à la nature du chantier et aux types de béton à réaliser. Le béton est fabriqué principalement dans des centrales de BPE, dans des centrales de chantier, dans des bétonnières pour les petits chantiers.

2.5.2 - L'approvisionnement et le stockage des constituants

Le choix des constituants qui vont être utilisés pour réaliser un béton déterminé repose sur deux exigences principales: l'une, d'ordre technique, dépend des caractéristiques visées (résistance, granulométrie, coloration, etc.); l'autre, d'ordre économique, tient compte en particulier de la proximité des fournisseurs par rapport au chantier, des coûts compétitifs...

Approvisionnés par route, rail ou voie d'eau, les constituants du béton doivent faire l'objet d'un stoc-

kage compatible avec les besoins du chantier, en évitant aussi bien les ruptures de stock que les surstockages. Les constituants utilisés doivent toujours être de qualité et conformes aux normes en vigueur.

■ **Le stockage du ciment**

Une fois qu'ont été choisis le ciment adapté à l'ouvrage à réaliser (CEM I, CEM II...), sa classe de résistance (32,5, 42,5, 52,5) et éventuellement sa résistance à certains milieux – travaux à la mer, en eaux à haute teneur en sulfates (voir G10 et G11), on veillera à son stockage soigné sur le chantier.

Pour les petits chantiers, le ciment conditionné en sacs doit être stocké sur des palettes disposées sur un sol plat et sec. Les sacs seront protégés de la pluie, mais également des remontées d'humidité du sol, des projections de boue et de tout choc mécanique susceptible de les déchirer. Si plusieurs types de ciment sont nécessaires au chantier, leur stockage sera séparé pour éviter erreurs et mélange.

Pour les grands chantiers, le ciment livré en vrac par camion-citerne est déchargé pneumatiquement et stocké dans des silos verticaux de forme cylindrique d'une capacité supérieure à 30 tonnes.

■ **Le stockage des granulats**

Il convient d'éviter tout mélange entre des granulats de natures, d'origines ou de classes granulaires différentes. Pour éviter la pollution des granulats par de la terre ou des déchets, le stockage se fait sur une aire aménagée. La propreté des sables, notamment, est un facteur de qualité indispensable du béton. Elle peut être mesurée par un essai décrit dans le G10.

L'aire de réception des granulats doit permettre un écoulement correct des eaux. Celui-ci est souvent obtenu grâce à la réalisation d'une aire bétonnée, légèrement inclinée. Cette aire comprend parfois, surtout pour les périodes froides, des canalisations de distribution de vapeur, pour assurer le réchauffage des granulats.

Le stockage en silos ou trémies est plus rarement utilisé. Ce mode de stockage permet de grandes réserves de matériaux et de gros débits. Les silos peuvent comporter plusieurs compartiments permettant le stockage de différents granulats. Leur

capacité peut être supérieure à 150 m³. Les trémies sont à ciel ouvert, généralement de faible hauteur et aussi hautes que larges.

Le stockage en silo ou en trémie présente les garanties de qualité et de régularité indispensables pour l'obtention de bétons à caractéristiques très régulières (résistances mécaniques, teinte). C'est également le seul moyen susceptible de garantir une teneur en eau constante des granulats, qui fait l'objet de mesures par sonde.

■ **Le stockage de l'eau**

Si l'on est amené à stocker de l'eau sur le chantier, on veillera à ce qu'elle ne puisse être polluée par des matières organiques ou des sels tels que les chlorures ou les sulfates.

■ **Le stockage des adjuvants**

Les adjuvants sont stockés en bidons ou en containers fermés, bien identifiés. Les précautions concernant le stockage par temps froid, ainsi que les dates limites d'emploi doivent être scrupuleusement respectées.

2.5.3 - Le dosage des constituants

Le ciment est acheminé du silo à la trémie de dosage par des vis sans fin (vis d'Archimède) qui assurent un débit régulier et à l'abri de l'humidité ambiante, ou par transport pneumatique.

Le dosage pondéral (nettement préférable au dosage en volume) est soit mécanique – la trémie emplie de ciment, portée par un fléau analogue à une balance romaine déclenche l'arrêt de l'arrivée de ciment lorsque le poids requis est atteint –, soit électronique – le fléau classique est remplacé par un barreau dont la déformation est mesurée par une jauge de contrainte.

En ce qui concerne les granulats, ils sont repris par skip ou dragline et acheminés jusqu'à la doseuse par bande ou tapis. Pour obtenir une composition de béton définie et constante, la teneur en eau des granulats doit être mesurée régulièrement. Le dosage en eau de gâchage sera effectué, déduction



faite de l'apport d'eau contenue dans les granulats. L'eau est dosée par compteur volumétrique ou pompe doseuse.

2.5.4 - Le malaxage des constituants

Le malaxage est une phase importante de la fabrication du béton, car il va conditionner la qualité de son homogénéité. Pour assurer la réussite de cette opération, il faut choisir un matériel adapté et déterminer un temps de malaxage suffisant.

■ Le matériel de malaxage

Le choix d'un appareil (bétonnière ou malaxeur) dépend de sa capacité de production, de son aptitude à malaxer différents types de mélanges (secs, plastiques, etc.) pour donner des bétons réguliers.



Les bétonnières

Ce sont des appareils qui assurent le mélange des constituants par simple rotation de la cuve suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement incliné. Des palettes solidaires de la cuve assurent l'entraînement des matériaux qui retombent par gravité. Ce mouvement de brassage assure le mélange des constituants.

Les bétonnières sont simples, robustes et plus particulièrement adaptées aux petits débits de production. La capacité de la cuve varie de 50 à 100 litres pour les plus petites, pour atteindre 1 m³ et plus pour les grosses bétonnières à axe horizontal. La vidange de la cuve se fait par basculement, ou par inversion du sens de rotation. Les bétons fabriqués à la bétonnière sont au maximum de la classe de résistance C16/20, pouvant être portée à C20/25 en cas de contrôle de la production.

Les malaxeurs

Ces appareils assurent une homogénéité du mélange supérieure à celle obtenue avec les bétonnières, grâce au déplacement relatif des composants à l'intérieur du mélange. Ce déplacement est provoqué par des trains de palettes ou de planétaires dont l'axe est excentré par rapport à celui de la cuve, qui est elle-même fixe ou tournante.

La plupart des malaxeurs sont à axes verticaux. Le béton subit un puissant effet de brassage à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal. Ce type de matériel est le mieux adapté à l'obtention de bétons homogènes.

■ Les paramètres du malaxage

Une fois déterminé l'appareil adapté au béton à réaliser, le malaxage, pour être efficace, doit prendre en compte certains paramètres :

- l'ordre d'introduction des composants ;
- la vitesse de rotation de la cuve ;
- le temps de malaxage.

L'ordre d'introduction idéal est parfois difficile à réaliser du fait du remplissage discontinu de la cuve par skip ou chargeur, qui ne facilite pas une introduction simultanée et progressive des constituants. Avec un malaxeur, on considère comme préférable, lorsque c'est possible, d'introduire le ciment et l'eau qui assure son mouillage, puis le sable – pour constituer le mortier – et enfin les gravillons. Les adjuvants ont été préalablement dilués dans une partie de l'eau de gâchage. Avec une bétonnière, l'introduction d'une partie des gravillons avec une partie d'eau assure le lavage de la cuve. Le ciment, le reste de l'eau et le sable sont introduits ensuite. Les gravillons restants sont introduits en dernier.

La vitesse de rotation des appareils est de l'ordre de 20 à 30 tours/mn, et diminue avec le diamètre de la cuve. Elle ne dépasse pas 20 tours/mn pour les bétonnières.

Le temps de malaxage est de l'ordre de 45 secondes. En revanche, les bétons très fermes ou riches en éléments fins peuvent nécessiter des durées de malaxage plus longues : 1 à 2 minutes.

2.5.5 - Le transport du béton : l'approvisionnement du chantier

Le transport du béton frais jusqu'au lieu de coulage fait appel à des matériels très différents, selon qu'il s'agit de parcourir de courtes distances sur un chantier ou qu'il doit être acheminé depuis une centrale de fabrication, parfois éloignée de plusieurs kilomètres. Ce deuxième cas, qui concerne plus particulièrement l'industrie du béton prêt à l'emploi est développé dans le chapitre 2.4 qui lui est consacrée.

Mentionnons simplement l'emploi de camions à bennes fixes ou des classiques bétonnières portées



(toupies) qui assurent le maintien de l'homogénéité pendant le transport. La capacité de ces bétonnières portées varie de 4 à 10 m³. Le temps cumulé de transport et de déchargement doit être limité à 1 h 30 min environ dans des conditions normales de température (voisines de 20 °C). Le risque rencontré est une chute de la maniabilité du béton. L'emploi de retardateurs de prise et de plastifiants permet de résoudre ce type de difficultés.

2.5.6 - Le transport du béton par benne, goulotte, tapis

Sur le chantier même, le matériel le plus utilisé pour le transport du béton est la benne à béton, dont la forme et les dimensions sont très variables. Elle est remplie par le haut, et vidée en partie basse par ouverture mécanique ou pneumatique d'une trappe. La commande d'ouverture peut être faite à distance. La partie inférieure de la benne est souvent munie d'un manchon qui permet de diriger la coulée de béton et de limiter la hauteur de chute, génératrice de phénomènes de ségrégation. La benne est acheminée au droit des coffrages par chargeur, grue et même hélicoptère dans les cas difficiles. Le béton peut être également transporté par goulotte ou par tapis.

2.5.7 - Le transport du béton par pompage

Le pompage du béton est une technique qui se développe rapidement car il permet une importante productivité, la limitation du temps d'attente avant la mise en place du béton, la possibilité d'assurer l'approvisionnement sur des sites difficiles d'accès, la mise en place de quantités importantes en une seule coulée.

La technique se développe parallèlement à la croissance du BPE. Le camion-pompe équipé de flèches allant jusqu'à 60 m, peut envoyer le béton directement de la toupie au lieu de coulage. L'évolution rapide des bétons pompés permet ainsi d'atteindre des longueurs de transport de 300 à 400 m, jusqu'à 100 m et plus en hauteur avec des bétons particulièrement adaptés.

Le parc Français est estimé à environ 1 200 machines.

Le procédé de pompage

Le béton est préalablement « agité » dans la trémie de réception de la pompe dès sa sortie du camion malaxeur. Le cheminement du béton dans la tuyauterie, se fait grâce à un cycle aspiration / poussée, à l'aide de deux pistons reliés à deux vérins hydrauliques évoluant à l'intérieur de deux cylindres appelés « chemises » (le premier vérin remonte dans sa chemise: aspiration du béton, simultanément, le second vérin descend: poussée du béton). Le nombre de cycles par minute « aspiration / poussée », permet de définir la cadence de pompage en mètres cubes par heure.

Nota

Le débit courant des pompes varie entre 20 et 150 m³ par heure.

Les types de pompes à béton

• Pompe automotrice à flèche: elle peut être installée à l'intérieur ou à l'extérieur du chantier; par définition dépendante des conditions du chantier, elle doit être en permanence en bon état de fonctionnement et disposer de tous les équipements

de sécurités. À côté de la pompe automotrice « traditionnelle », les techniques de pompage conduisent actuellement en France au développement:

- des malaxeurs pompes pour les petits chantiers ou les interventions de faible volume;
- des tapis pour le même type d'intervention suivant les habitudes de mises en œuvre des entreprises.

• Pompe stationnaire plus tuyauterie et mât de bétonnage: elle reste à demeure sur le chantier.

2.5.8 - Les règles à respecter lors du transport

Le matériel utilisé pour le transport du béton devra être fréquemment nettoyé à l'eau pour ne pas introduire des corps étrangers ou des déchets dans le béton. Par ailleurs, le matériel sera tel que la hauteur de chute du béton lors du coulage, ou les chocs mécaniques durant la manutention, ne soient pas de nature à créer des problèmes de ségrégation dans le béton.

La durée de transport du béton doit être limitée en fonction des conditions ambiantes de température, d'hygrométrie ou de vent. Elle ne peut dépasser 1 h 30.

Le béton fabriqué sur le chantier doit être mis en œuvre moins de 30 minutes après sa fabrication.