

BETONS DENSES

CONSEILS POUR L'UTILISATION ET LA MISE EN OEUVRE

Les bétons réfractaires denses contiennent tous un liant hydraulique. Ils acquièrent leur résistance mécanique après gâchage avec de l'eau.

Les produits sont livrés secs, prêts à l'emploi. Ne rien ajouter au contenu du sac en dehors de l'eau de gâchage. Réaliser chaque fois que possible des gâchées correspondant à un nombre entier de sacs. Ne jamais utiliser une fraction de sac sans avoir au préalable homogénéisé soigneusement tout le contenu. Refermer le sac correctement pour conserver la fraction non utilisée.

CONSERVATION

Les bétons denses comme tous les bétons hydrauliques sont sensibles à l'humidité, ils doivent de ce fait être conservés obligatoirement dans un endroit sec.

Les emballages standard sont conçus pour assurer la meilleure conservation possible du produit, ils ne peuvent toutefois être totalement étanches, aussi il est recommandé d'utiliser les matériaux dans un délai de 6 mois.

Dans la pratique, un béton stocké dans une ambiance présentant une très faible humidité relative ne sera pas altéré, et la durée de conservation normale du produit est alors doublée par rapport à celle que nous indiquons ci-dessus.

Dans le cas de livraison outre-mer ou pour des réalisations complexes et longues sans possibilité d'assurer des conditions correctes de stockage, il sera nécessaire de prévoir un conditionnement particulier (réalisé sur demande).

Ne jamais utiliser un béton si des agglomérats non friables sont présents au moment de l'ouverture du sac. Cela signifie qu'il y a eu déclenchement de la prise localement donc pénétration d'humidité dans l'enveloppe. Le produit doit alors être considéré comme inutilisable.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

EAU DE GACHAGE

Qualité

L'eau de gâchage doit être de qualité potable telle que définie par la réglementation européenne, ou mieux de l'eau déminéralisée. L'eau ne doit pas apporter d'éléments contaminants qui pourraient

- retarder ou empêcher la prise du béton,
- provoquer une prise rapide qui nuit à l'installation correcte du béton,
- diminuer le niveau de résistance mécanique du béton.

Ne jamais utiliser pour préparer le béton

- de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre,
- de l'eau contenant du sucre,
- de l'eau présentant un taux d'impuretés (chlorures, sulfate, ammonium, etc...) supérieur à 1000 ppm.,
- de l'eau dont le PH est inférieur à 6.

En cas de doute sur la qualité de l'eau disponible, faire procéder à une analyse auprès d'un laboratoire spécialisé (ou nous consulter).

La température idéale de l'eau se situe entre 15 et 25°C.

Quantité

La quantité d'eau de gâchage est indiquée sur les fiches techniques et sur les sacs pour une mise en place par coulage.

Elle est susceptible selon les lots et le mode de préparation de légères variations.

La quantité d'eau introduite au moment de la préparation du béton doit remplir deux fonctions :

- assurer l'hydratation complète du liant hydraulique,
- donner au produit la consistance compatible avec sa nature et son mode de mise en oeuvre.

Pour les bétons denses, le dosage de l'eau sera optimisé en fonction du mode de mise en place ultérieur.

Si le produit est coulé-tringlé, le "test de la boule" reste la méthode la plus pratique et la plus fiable.

Il s'agit de faire rebondir une dizaine de fois dans le creux de la main une poignée de béton en tentant de former une boule.

- si le produit est trop sec il se brise en morceaux, il est donc impossible de former une boule
- si le produit est trop humide, il prend la forme d'une galette et s'affaisse entre les doigts lorsqu'on les écarte.

Si le produit est coulé-vibré, le meilleur moyen consiste à vibrer le contenu d'un demi-seau ; le béton doit alors se compacter et se répandre en formant une surface plate en moins de 10 secondes. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de réajuster la teneur en eau.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

PREPARATION DU BETON

Il est impératif d'éviter toute pollution du béton pendant la phase de préparation. Ceci implique d'utiliser du matériel parfaitement propre et de ne jamais gâcher du béton à même le sol.

Matériel

Pour des petites quantités, il est possible de préparer le mélange à la main dans une auge à mortier.

Pour des quantités plus importantes et pour une meilleure efficacité on peut utiliser soit une bétonnière soit un malaxeur à palettes à cuve horizontale, celui-ci étant plus particulièrement recommandé si le mélange doit être coulé-vibré.

Il est impératif, pour une efficacité maximum, de ne charger les mélangeurs qu'à 50-60 % de leur volume utile.

Malaxage

Le ou les sacs utilisés seront homogénéisés rapidement par un malaxage à sec (10 à 30 secondes).

Les 3/4 de l'eau nécessaire seront introduits rapidement dans la zone où le mélange est le plus brassé. Le dernier quart sera ajouté progressivement pour arriver à la consistance désirée.

Le temps de malaxage est un facteur important pour obtenir les caractéristiques optimales du béton. En particulier, un temps de malaxage trop court nécessitera un ajout d'eau plus important que prévu pour obtenir la consistance désirée. Ceci aura par la suite une influence néfaste sur les propriétés mécaniques.

Le temps de mélange total variera entre 3 et 6 minutes selon la taille du malaxeur utilisé.

MISE EN PLACE DU BETON PAR COULAGE

Le transfert du malaxeur à la zone d'utilisation se fera le plus rapidement possible. La mise en place du béton devra être terminée dans un intervalle de 30 minutes après la fin du malaxage (pour une température ambiante comprise entre 15 et 25°C).

Coulage-tringlage

Dans ce cas la mise en place proprement dite consiste à éliminer les poches d'air et à combler les vides qui demeurent après déversement du produit. Pratiquement, il s'agit de "travailler" énergiquement le béton à l'aide d'une tige métallique ou d'une truelle jusqu'à atteindre une répartition homogène. On peut obtenir le même résultat en vibrant très légèrement le béton ; la vibration sera arrêtée dès que le produit sera étalé (5 à 10 secondes)

Coulage-vibration

Selon les quantités mises en oeuvre et la complexité de la maçonnerie les éléments vibrants seront soit des vibreurs fixés au coffrage soit des aiguilles vibrantes. Leur nombre, taille et puissance seront définis en fonction de chaque situation. D'une façon générale, il est conseillé de ne pas survibrer ; l'apparition d'une surface plane brillante indique une bonne compaction. Au delà il se produirait un début de ségrégation avec apparition de laitance en surface, les conséquences étant entre autres un affaiblissement des résistances mécaniques.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 66 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

Si l'importance de l'ouvrage à réaliser impose une mise en place par couches successives, il est impératif de délimiter des zones telles qu'un apport de matériau frais intervienne moins de 30 minutes après la mise en place de la couche précédente afin de pouvoir réaliser une liaison correcte.

Il est déconseillé, une fois la mise en place terminée, de lisser à la truelle la surface libre du béton. Cette pratique conduit à une accumulation de particules fines en surface créant après prise une pellicule imperméable ; le départ de l'eau pendant la phase ultérieure de séchage n'en sera que plus difficile.

PREPARATION DES SURFACES DELIMITANT LA ZONE A GARNIR

Les surfaces définissant le volume à remplir peuvent faire partie intégrante de l'ensemble à réaliser (casing, sous-couche) ou être utilisées à titre temporaire (coffrage). Elles sont aussi de natures différentes (métal, bois, matériaux réfractaires poreux ou fibreux).

Les surfaces susceptibles d'absorber l'eau devront être soigneusement imperméabilisées afin que le béton ne soit pas privé localement de l'eau nécessaire à sa prise hydraulique. Pour ce faire, en fonction du pouvoir absorbant estimé du matériau considéré, on pourra utiliser des produits tels que la paraffine, les graisses, les silicones, des feuilles de polyéthylène.

Les coffrages devront en plus être traités pour que le démoulage puisse s'effectuer sans que le béton soit endommagé. Les graisses ou les huiles de démoulage sont les produits le plus couramment utilisés.

Lorsque cela apparaît possible (configuration et utilisation ultérieure de l'appareil), il est souhaitable d'aménager des drains dans la partie basse de l'ouvrage. Il faut savoir, en effet, qu'un béton contient au moment du coulage plus d'eau que nécessaire à la réaction d'hydratation. Une partie de l'eau va donc être libérée pendant et après la prise et s'accumuler dans la partie la plus basse de l'ouvrage qui lui est accessible. Il peut s'ensuivre des détériorations au moment où l'ensemble est porté en température.

Le fait de faciliter l'écoulement de l'eau libérée par le béton, n'est pas contradictoire avec les recommandations données ci-dessus. Un matériau poreux peut en effet absorber davantage d'eau que le béton n'en libère. Les drains seront, en plus efficaces pendant la phase de séchage du béton en permettant l'évacuation de la vapeur vers l'extérieur de l'appareil.

CONDITIONS A RESPECTER APRES LA MISE EN PLACE

Dans les heures qui suivent la mise en place, le béton va développer sa prise hydraulique. La cinétique de ce phénomène est fonction de la nature du liant et de la température qui règne à l'instant où la prise s'amorce. Il faut signaler que ce dernier paramètre conditionne largement le niveau des résistances mécaniques du béton avant et après cuisson.

Pour des températures ambiantes comprises entre 15 et 25°C (température de référence 21°C), les bétons denses, selon leur nature, présentent un temps de durcissement compris entre 8 et 12 heures après leur mise en place. Chaque fois que possible, les coffrages seront toutefois maintenus au-delà des temps minimum indiqués.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

D'une manière générale, les bétons doivent être maintenus en atmosphère humide 24 heures au moins, 48 heures si possible, après durcissement. Il faut en effet que le matériau conserve en permanence une quantité d'eau suffisante pour que la réaction d'hydratation soit complète. Le départ de l'eau peut être dû à l'effet exothermique, plus ou moins marqué selon les bétons, qui accompagne la réaction d'hydratation ou encore à un déséquilibre thermique et hygrométrique entre le matériau et l'atmosphère. Pour s'y opposer, il est nécessaire de protéger les surfaces libres du béton dès que celui-ci est durci, en pulvérisant de l'eau régulièrement, en posant des feuilles de polyéthylène ou encore, en disposant une fine pellicule de produit de cure (résine).

MISE EN PLACE PAR PROJECTION

Cette technique de mise en oeuvre nécessite l'utilisation conjointe de matériaux adaptés et de matériel spécifique, les conditions de mise en oeuvre (écoulement régulier, poussières, rebond) étant autant influencées par les caractéristiques et les réglages de la machine de projection que par l'aptitude à la projection du matériau.

La machine la mieux adaptée est celle qui refoule le matériau de la manière la plus régulière possible. A ce titre, la conception et le principe de fonctionnement de la machine REED sont les mieux adaptés pour assurer la régularité du débit matière.

Cette machine se caractérise par :

- . Un rotor à alvéoles contiguës et à vitesse variable (entraînement pneumatique).
- . Une alvéole à deux chambres permettant une éjection directe et vers le haut.

La combinaison de ces deux principes permet d'évacuer le matériau à débit variable sous une pression variable, elle a en outre comme conséquence importante la suppression du phénomène de coup de bélier consécutif à des bouchages d'alvéoles.

Pour assurer une projection correcte, il faut d'abord disposer d'une pression et d'un débit d'air suffisants ; un débit de 10 m³ par minute sous une pression de 10 bars est souvent nécessaire (le minimum étant de 8 m³ par minute sous 5 bars).

Le second paramètre important est d'assurer l'humidification complète et homogène du matériau. Pour ce faire, il faut que l'eau introduite en amont de la lance soit disponible sous une pression suffisante pour pénétrer au coeur de la veine du matériau en écoulement. La pression d'eau idéale est de 10 bars (le minimum étant 7 bars). Ceci nécessite le plus souvent l'utilisation d'un surpresseur.

Il faut ensuite prévoir deux points d'humidification en amont de la buse de projection. Le matériau en écoulement est ainsi préhumidifié au niveau de la première bague de pulvérisation, sa teneur en eau finale est ensuite ajustée au niveau de la seconde bague. La distance séparant les deux bagues de même que celle séparant la seconde bague de la buse de pulvérisation déterminent des temps d'homogénéisation du produit. Ces distances sont variables en fonction de la nature du matériau traité.

La détermination de la quantité d'eau correcte se fait en observant l'aspect du béton au point d'impact :

- . Si le produit est trop sec, son aspect est mat et les grains apparaissent nettement.
- . Si le produit est trop liquide, il flue ou il coule

Un produit bien adapté et un réglage correct de l'appareillage permettent d'obtenir un intervalle suffisamment large entre ces deux points de telle sorte qu'il n'y aura que peu d'ajustements à faire en cours d'opération.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

Le garnissage sera réalisé de bas en haut par "éléments" d'une surface comprise entre 0,5 et 1 m² et directement à l'épaisseur finale. Il est préférable en effet de créer des faux joints plutôt que de vrais plans de clivage.

Les conditions à respecter après la mise en place sont analogues à celles décrites pour le coulage.

BONY S.A.

PRODUITS RÉFRACTAIRES

53, Boulevard Fauriat - B.P. 42

42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1

Tél. 04 77 32 99 23

Fax 04 77 33 86 10

R.C. St-Etienne 59 B 96

BETONS DENSES

SECHAGE ET MISE EN TEMPERATURE

Les bétons denses, une fois la période de cure terminée, doivent être amenés à leur état d'équilibre thermique final selon un processus suffisamment lent et progressif afin de ne subir aucune dégradation.

Pendant la première mise en température, un certain nombre de phénomènes, essentiellement irréversibles, se manifestent. Ils correspondent, en-dessous de 600°C, aux différentes étapes de la déshydratation.

Une fois la prise du béton terminée, l'eau introduite au gâchage se retrouve sous deux états différents :

- Chimiquement liée, elle a réagi avec le ciment pour former des hydrates.
- Libre, elle sature à la température ambiante la porosité du produit.

Dans le cas des bétons denses 50 % environ de l'eau introduite au gâchage reste à l'état libre.

CHANGEMENTS D'ETAT PENDANT LA MISE EN TEMPERATURE

A des niveaux de température différents, l'eau libre d'abord, l'eau liée ensuite vont passer sous forme de vapeur. Le drainage de cette vapeur vers l'extérieur du matériau est possible s'il y a déséquilibre de pression entre les deux milieux.

L'élévation de température doit toutefois être suffisamment lente pour que la pression de vapeur à l'intérieur du matériau reste largement inférieure à la résistance de ce dernier.

De même, l'air ou les fumées en contact avec le matériau doivent être aussi peu saturés que possible afin que le débit de vapeur soit proche du maximum autorisé par la porométrie apparente du matériau. En d'autres termes, leur renouvellement doit être assuré en permanence (avec éventuellement possibilité de régulation du débit de fuite).

En même temps que l'eau est extraite du béton, on observe une évolution dilatométrique non linéaire (et non réversible) caractéristique de la première mise en température. Ceci correspond d'abord au resserrement de la texture consécutivement au départ de l'eau libre, puis aux accidents dilatométriques liés aux changements de structure cristalline des hydrates. Ceci impose une nouvelle fois une élévation de température lente et progressive afin que les variations brutales de dimensions n'entraînent pas des tensions préjudiciables à la cohésion du matériau.

Dans l'ordre chronologique de l'échelle des températures l'eau libre est évacuée dès que la température s'élève, le rendement d'extraction maximum se situant dans l'intervalle 100-150°C. Ensuite, selon la nature des hydrates formés au moment de la prise, le départ de l'eau liée s'effectue en plusieurs étapes entre 250 et 600°C.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE POUR LA MISE EN TEMPERATURE

- La connaissance du profil thermique dans le revêtement en régime établi permet de connaître sur quelle profondeur la déshydratation va être effective ou si le drainage de la vapeur peut éventuellement et en partie s'effectuer par l'extérieur de l'enceinte (trous d'évent dans le casing).
- Prendre garde à d'éventuels produits de cure trop "réfractaires" qui imperméabiliseraient le garnissage trop longtemps et pourraient être à l'origine de surpressions pendant la phase de séchage
- La situation idéale correspond à un chauffage homogène du revêtement quelles que soient la taille et la géométrie de l'appareil considéré.

Cette situation est rarement sinon jamais réalisée. Il convient donc selon la nature, la position et la puissance de la source de chauffage d'être en mesure de connaître l'évolution des températures en tout point du revêtement

Dans certaines configurations extrêmes la vapeur extraite localement peut se condenser dans les zones froides qu'il convient de prendre en compte pour piloter la mise en température. En d'autres termes cela signifie que le profil de la courbe de mise en température (au moins pour la phase correspondant au séchage) doit être respecté pour chaque zone, la zone de référence évoluant en fonction du temps depuis celle qui s'échauffe le plus rapidement jusqu'à celle qui reste "froide le plus longtemps".

PILOTAGE DE LA COURBE DE MONTEE EN TEMPERATURE

Une condition nécessaire est de piloter cette phase par thermocouples qui rendent compte de manière précise de l'évolution des températures en différents points du revêtement préalablement sélectionnés (vois ci-dessus).

Les thermocouples de référence doivent être noyés dans le revêtement et venir au plus près possible de la face chaude (5 mm au maximum).

Dans les cas les plus complexes (revêtements multicouches, épaisseurs variables), il est recommandé de noyer des thermocouples à des profondeurs différentes pour obtenir un maximum d'informations quant à l'évolution des températures au sein du revêtement. Ceci peut conduire, parfois, à piloter la mise en température non plus par rapport à la face chaude mais par rapport à une des couches intermédiaires (nous consulter).

Le moyen le plus fiable pour suivre la courbe de mise en température définie à priori est d'asservir la source de chauffage à un système de régulation piloté par les températures enregistrées. A ce titre, le chauffage par résistance électrique reste celui qui offre le plus de souplesse et de sensibilité.

Dans la majorité des cas cependant, la phase de séchage est réalisée par l'intermédiaire de la source d'énergie de l'appareil (brûleurs) ou à l'aide de générateurs d'air chaud.

Le degré de sensibilité de ces appareils diminuant lorsque leur puissance augmente, il convient d'apporter une attention toute particulière au pilotage pour malmener le moins possible la courbe théorique.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 96

PROFIL DE LA COURBE DE MISE EN TEMPERATURE

Il n'existe pas de courbe type applicable à toutes les situations, chaque garnissage étant un cas particulier de par la nature et l'épaisseur des différents matériaux qui le constituent. Il est donc conseillé de nous consulter chaque fois que nécessaire.

Toutefois, s'il faut énoncer un principe on considérera que l'élévation de température idéale est linéaire en fonction du temps.

Dans la pratique on ne peut procéder ainsi car faisant abstraction de l'évolution des pressions de vapeur au sein du matériau et de l'enceinte, on introduit des paliers de température assimilables à des seuils d'égalisation ou de "décompression".

Pour des bétons denses et pour une épaisseur moyenne de 150 mm on retiendra donc comme allure générale de mise en température les indications qualitatives suivantes :

	VERSION CLASSIQUE	VERSION S R
20 à 150°C	35°C/heure	50°C/heure
à 150°C	palier de 6 heures	palier de 3 heures
150 à 450°C	35°C/heure	50°C/heure
à 450°C	palier de 6 heures	palier de 3 heures
450 à 600°C	35°C/heure	50°C/heure
600 à T service	50°C/heure	50°C/heure

NOTA :

La durée du palier à 150°C doit être modulée en fonction de l'évolution du débit de fuite de vapeur vers l'extérieur de l'enceinte. Le palier sera maintenu aussi longtemps que l'émission de vapeur ne diminue pas de manière très significative. Selon les cas le palier peut donc être plus ou moins long que la valeur indiquée.

BONY S.A.
PRODUITS RÉFRACTAIRES
53, Boulevard Fauriat - B.P. 42
42001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1
Tél. 04 77 32 99 23
Fax 04 77 33 86 10
R.C. St-Etienne 59 B 98