

## 2.7 Le bétonnage – par temps chaud – par temps froid

### 2.7.1 - Le bétonnage par temps chaud

Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre ont une grande influence sur la qualité finale du béton. Il convient de se préoccuper de cette sensibilité aux températures élevées dès la préparation du béton, puis, pendant son transport, sa mise en œuvre, son durcissement et sa cure jusqu'à maturité.

En règle générale, dès que la température mesurée sur chantier est durablement supérieure à 25 °C, des dispositions sont à prendre dans le programme de bétonnage, elles sont plus contraignantes encore, au-dessus de 35 °C. Ce premier sous-chapitre traite essentiellement des conséquences et préconisations du bétonnage par temps chaud.

#### ■ Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons

Le béton est sensible aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent, qui agissent sur :

- la rhéologie du béton et son évolution ;
- la vitesse de prise ;
- la cinétique de durcissement ;
- l'évaporation et la dessiccation du béton.

L'augmentation de la température du béton est une cause de perte de maniabilité et chaque constituant y participe différemment en fonction de son dosage et de sa chaleur massique. Par exemple, on retiendra, toute chose égale par ailleurs, que, dans le domaine courant :

- une augmentation de 10 °C du ciment élève de 1 °C la température du béton ;
- une augmentation de 10 °C de l'eau élève de 2 °C la température du béton ;
- une augmentation de 10 °C des granulats élève de 7 °C la température du béton (figure 1).

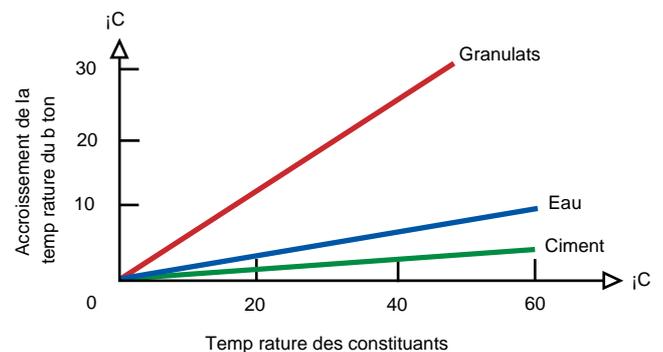


Figure 1 : accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants.

Avec l'accroissement de la température du béton, les propriétés physico-chimiques du matériau sont sensiblement modifiées.

#### La rhéologie

Pour une composition donnée d'un béton, la maniabilité caractérisée par la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams évolue (figure 2).

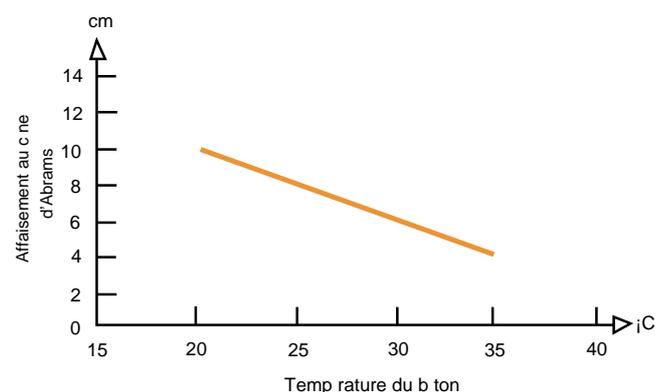


Figure 2 : évolution de l'affaissement au cône en fonction de la température.

Pour une élévation de la température du béton, il y a une importante perte de l'ouvrabilité qui, en outre, peut se manifester très rapidement après la préparation du béton. La solution de rajouter de

l'eau pour palier cette perte d'ouvrabilité est interdite car elle entraîne une baisse de la résistance mécanique obtenue sur le béton à toutes les échéances (figure 3).

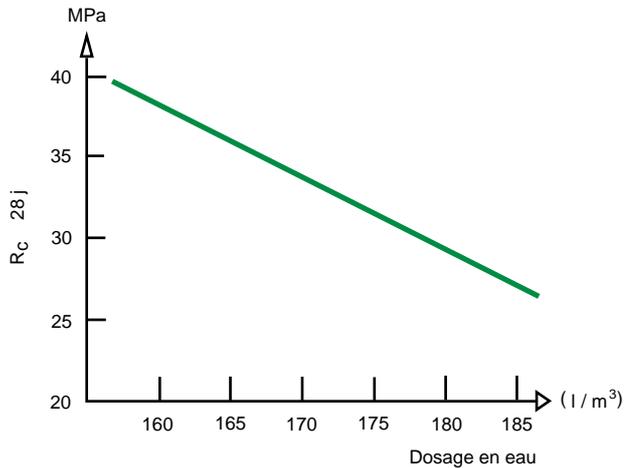


Figure 3 : évolution des résistances d'un béton en fonction de l'augmentation de la teneur en eau.

### Les temps de prise

L'augmentation de la température accélère les réactions chimiques: la prise du béton est plus rapide (figure 4).

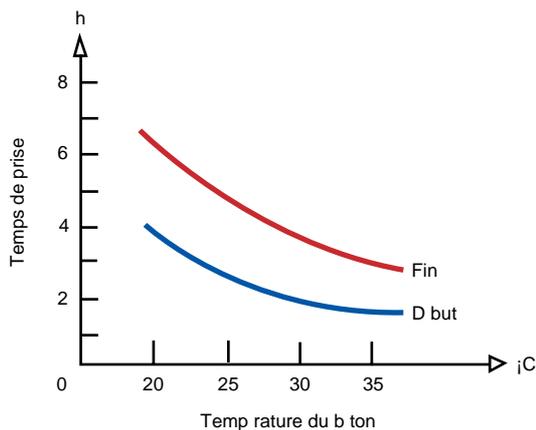


Figure 4 : évolution du temps de prise du béton en fonction de la température.

### Les résistances mécaniques

Une forte élévation de la température provoque aux échéances précoces (1 ou 2 jours) une augmentation de la résistance du béton. Cela se traduit généralement par une résistance du béton à 28 jours

moins élevée que celle du même béton qui aurait été conservé à une température plus basse.

Il est important de tenir compte de ce phénomène (figure 5) et il faut se souvenir que les réactions d'hydratation sont plus ou moins exothermiques selon les types de ciment et que cet effet se cumule avec celui de la température extérieure.

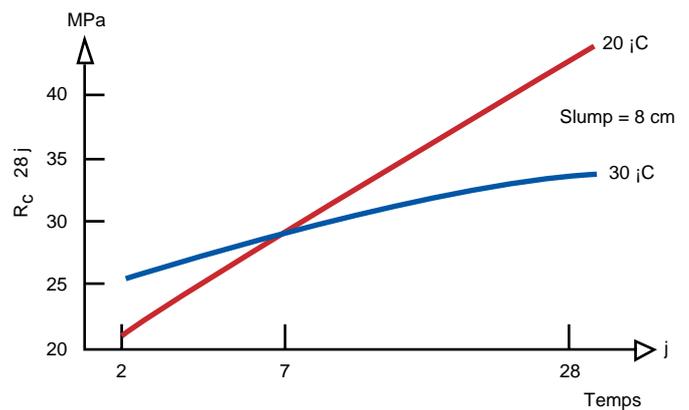


Figure 5 : évolution des résistances en compression en fonction de la température.

### La fissuration

Une évaporation trop rapide de l'eau du béton peut entraîner quelques heures après le décoffrage des fissures de retrait plastique. Dans la pratique, il est conseillé de ne pas dépasser une vitesse d'évaporation supérieure à 1 kg/m²/h. Elle est d'autant plus importante que :

- la température ambiante est élevée,
- la température du béton augmente,
- l'air est sec.

L'abaque de l'American Concrete Institute (ACI) permet d'estimer la quantité d'eau évaporée du béton en fonction de ces trois paramètres (figure 6).

### Préconisations pour le bétonnage par temps chaud

Les services météorologiques donnent des informations sur les conditions climatiques d'un site donné. Pour des chantiers importants, il peut être nécessaire de compléter l'information des services spécialisés par un suivi précis de l'évolution locale.

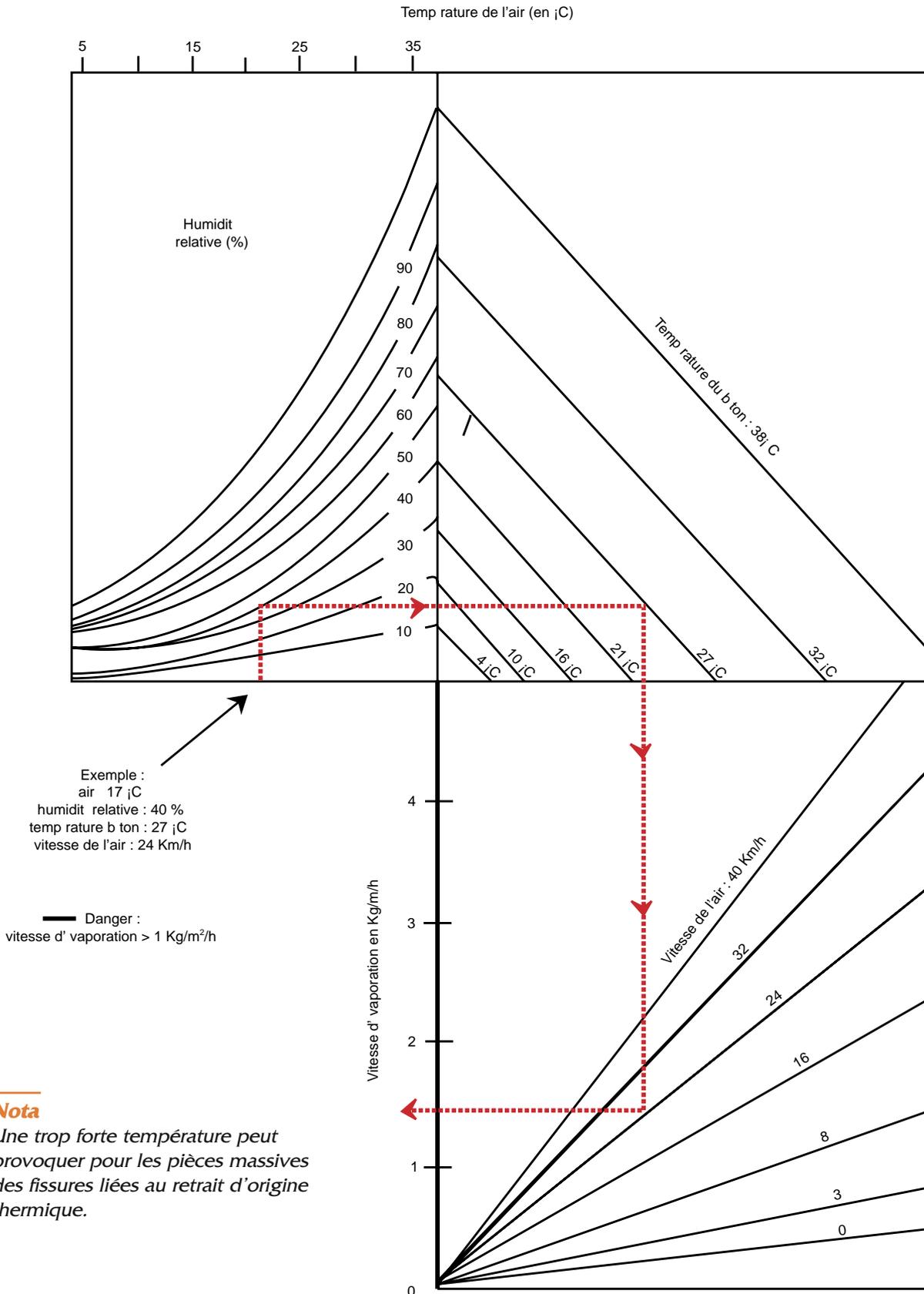


Figure 6: abaque permettant de calculer la vitesse d'évaporation de l'eau à la surface du béton en fonction des conditions atmosphériques (température, humidité relative, vitesse du vent et température du béton).

Par temps chaud, il conviendra de respecter quelques règles simples afin d'obtenir en œuvre un béton dont les caractéristiques correspondent aux attentes des maîtres d'ouvrage. Des modifications de la formulation du béton peuvent dans les cas extrêmes s'avérer nécessaires. À l'égard des granulats (sable, gravillon) qui constituent l'essentiel de la masse du béton, c'est au niveau des conditions de stockage que des protections sont à mettre en place, elles peuvent être complétées par un arrosage plus ou moins intensif, apport d'eau dont il convient de tenir compte dans la composition du béton. Bien que le choix du type de ciment soit dicté par des considérations liées à l'ouvrage réalisé et aux conditions d'environnement, il peut être utile de rechercher un ciment faiblement exothermique. L'eau utilisée pourra être refroidie.

Au niveau de la formulation du béton, il est possible d'associer un ou plusieurs adjuvants, un retardateur de prise qui prolongera le temps d'utilisation, un plastifiant réducteur d'eau qui permet de maintenir le rapport E/C. Il est important dans cette hypothèse de réaliser des études préalables de compatibilité ciment-adjuvant en les menant dans les conditions climatiques proches de celles du chantier afin de vérifier que la maniabilité reste satisfaisante pendant une durée compatible avec les conditions de transport et de mise en œuvre.

Lorsque le chantier est approvisionné par des centrales de béton prêt à l'emploi, il faut s'efforcer de réduire les temps de transport et d'attente et limiter le stationnement en plein soleil des camions malaxeurs.

Au niveau de la mise en œuvre du béton, il peut être utile de refroidir les coffrages et il convient toujours de bétonner en dehors des heures les plus chaudes de la journée. En aucun cas, il ne faudra rajouter d'eau à un béton dont l'ouvrabilité s'avère médiocre.

Après coulage, le béton doit être protégé de la dessiccation, notamment les surfaces exposées au soleil et au vent, par un produit de cure ou par une bâche (paillasons humides, films plastiques, etc.). Cette protection doit être maintenue en place durant les premières heures voire quelques jours selon l'évolution des conditions climatiques.

La qualité et la durée de vie du béton se jouent aux tous premiers âges, période où il est particulière-

ment sensible. Les précautions prises pour bétonner par temps chaud peuvent générer des coûts supplémentaires qui, de toute façon, seront moindres que ceux liés aux réparations ultérieures.

## 2.7.2 - Le bétonnage par temps froid

Les conditions climatiques ont une influence très importante sur la qualité finale du béton. On doit s'en préoccuper dès sa fabrication et jusqu'à sa maturité en passant par son transport, sa mise en œuvre et sa cure.

En règle générale, lorsque la température mesurée sur chantier est inférieure à  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la mise en place du béton est déconseillée. Entre  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , elle ne peut se faire qu'avec des moyens efficaces pour prévenir les effets dommageables du froid. Le présent document ne traite que de l'effet des basses températures sur le béton frais. L'effet du gel sur béton durci faisant partie d'un chapitre spécifique : « La tenue au gel des bétons durcis ».

### ■ Conséquences de la baisse de température sur les bétons frais

Sur béton frais, la baisse de température dans une plage n'atteignant pas le gel, ralentit les réactions exothermiques d'hydratation du ciment. On constate :  
 – un retard du début de prise (figure I) ;  
 – un allongement du temps de durcissement (figure II).

On observe aussi une augmentation du ressuage.

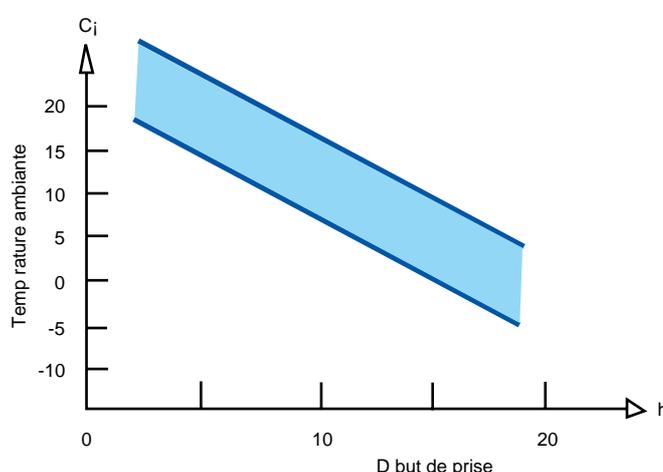


Figure I: début de prise du béton en fonction de la température.



### ■ Conséquences du gel sur le béton frais

Lorsque le béton frais gèle, les réactions d'hydratation cessent et le durcissement est complètement arrêté.

Si le gel intervient avant le début de prise, il provoque uniquement un gonflement, le durcissement reprenant normalement dès que la température redevient positive (vers 5 °C). L'effet du gonflement conduit néanmoins à une baisse de résistance. Si le gel intervient au début du durcissement, la porosité est augmentée, l'adhérence pâte-granat diminue et les résistances mécaniques sont fortement altérées. Dans ce cas, les dommages sont irréversibles, il est donc extrêmement important d'anticiper l'évolution climatique

avant la mise en œuvre et de prendre les dispositions nécessaires. La résistance finale du béton est d'autant plus affectée que le gel du béton est précoce.

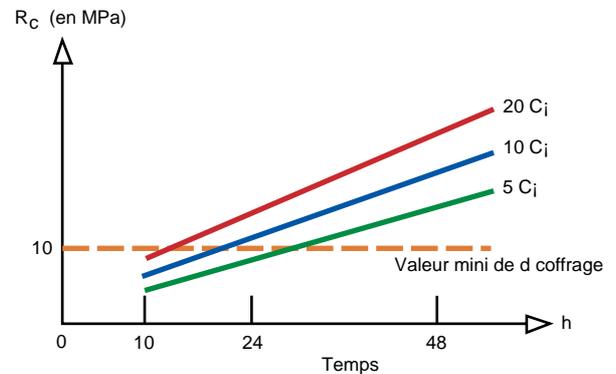


Figure II : Délai de décoffrage en fonction de la température.

### ■ Précautions à prendre pour le bétonnage par temps froid

Pour mettre en œuvre correctement par temps froid, il est indispensable :

- d'adapter la composition du béton ;
- d'apporter et de maintenir une quantité de chaleur au béton frais ;
- de maintenir ces dispositions de protection en place au-delà des délais habituels.

### Composition du béton

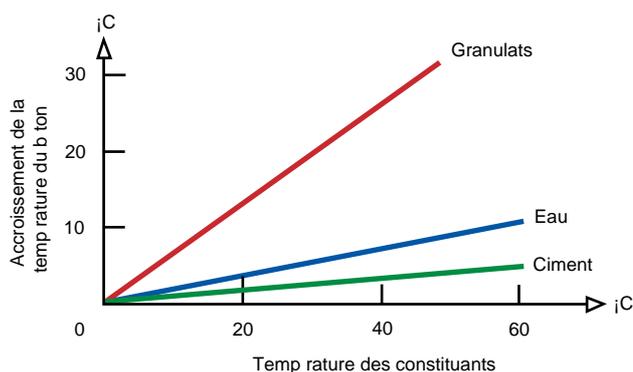
La composition du béton devra être soigneusement étudiée notamment sur :

- **le choix du ciment** : un ciment de type CEM I de classe 52,5 ou 42,5 (ou de sous classe R) est recommandé ;
- **le dosage du ciment** : il est recommandé de se tenir à des dosages élevés supérieurs à 330 kg/m<sup>3</sup>,
- **le choix des granulats** : les granulats seront non poreux, non gélifs, propres et non gelés,
- **le dosage en eau** : le dosage en eau devra être le plus faible possible,
- **l'adjuvantation** : l'emploi d'adjuvants tels que réducteurs d'eau, accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement est conseillé. Il est indispensable de réaliser des études préalables de compatibilité ciment-adjuvant et de les mener dans les conditions voisines du chantier.

## Apport et maintien de chaleur

**Chauffage :** le béton peut être chauffé lors de sa fabrication par l'eau ou les granulats. Il peut être ensuite maintenu à température par chauffage de l'atmosphère ambiante ou du coffrage.

Le ciment, l'eau et les granulats contribuent dans des proportions variables à l'élévation de la température du béton (ex : figure III) – voir l'exemple donné à la page 78.



**Figure III : accroissement de la température du béton en fonction de la température des constituants.**

**Calorifugeage :** les coffrages pourront comporter une isolation qui limitera les échanges thermiques avec l'extérieur.

**Transport :** le transport du béton frais ainsi que l'attente des toupies seront le plus court possible.

**Étuvage :** l'étuvage du béton au cours de son durcissement accélérera l'hydratation du ciment.

**Protection de surface :** la surface du béton en contact avec l'air devra être protégée du froid, par exemple avec une bâche isolante.

### Maintien des dispositions de protection :

- les protections de surface doivent être maintenues au moins pendant 72 heures ;
- le décoffrage ne doit être effectué que si le béton a atteint une résistance mécanique suffisante de l'ordre de 10 MPa, – les dispositifs d'étalement doivent être maintenus en place pendant la période froide en particulier en présence de gel.

Toutes ces mesures peuvent générer des coûts supplémentaires qui, de toute façon, seront moindres que ceux liés aux réparations ultérieures.



## Cas des ciments à durcissement rapide

Les ciments à durcissement rapide comme le ciment d'aluminates de calcium fondu et le prompt, dégagent leur chaleur d'hydratation sur un temps très court. L'échauffement obtenu permet le bétonnage par des temps très froids ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) ou dans des chambres froides. Les précautions à prendre sont identiques à celles des bétons de ciments courants. On se référera aux préconisations d'utilisation des fabricants.