

1. INTRODUCTION

La teneur en eau du béton frais, qui varie de 15 à 18 %, le rend vulnérable au gel lorsque la température ambiante est froide et que la température des éléments en contact avec le béton est trop basse. Il en découle des implications directes sur les caractéristiques et le comportement du béton, dont une diminution de la résistance à la compression pouvant aller jusqu'à 50 %.

2. CAUSES

2.1 TEMPÉRATURE AMBIANTE CRITIQUE

Selon la norme CSA A23.1/2, des précautions doivent être prises pour effectuer la cure du béton lorsque la température ambiante est inférieure ou égale à 5° C ou lorsqu'une chute sous cette valeur est prévue dans les 24 heures suivant la mise en place du béton.

Après la mise en place, il est essentiel de maintenir le béton à une température supérieure à 10 °C pour une période qui dure de cinq à sept jours. Cette période de protection permet au béton de développer la maturité suffisante pour résister au froid. Si une cure humide est utilisée en période de gel, elle doit se terminer 12 h avant la fin de la période de protection. Le tableau 1 présente l'écart de température maximale admissible préconisé par la CSA A23.1 entre l'air ambiant et la surface de l'élément en béton afin d'éviter un choc thermique ou la fissuration du béton.

TABLEAU 1 ÉCARTS MAXIMAUX ADMISSIBLES ENTRE LA TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DU BÉTON ET LA TEMPÉRATURE AMBIANTE (VENT D'AU PLUS 25 KM/H) ¹

Épaisseur du béton (m)	Écart de température maximal admissible, °C				
	Rapport longueur/hauteur de l'ouvrage ^(a)				
	0 ^(b)	3	5	7	20 ou plus
< 0,3	29	22	19	17	12
0,6	22	18	16	15	12
0,9	18	16	15	14	12
1,2	17	15	14	13	12
> 1,5	16	14	13	13	12

^(a) La longueur désigne la dimension restreinte la plus grande et la hauteur, la dimension non restreinte.

^(b) Ouvrages étroits, de très grande hauteur, comme les poteaux.

2.2 LIMITES DE TEMPÉRATURE DU BÉTON

Le tableau 2 présente les valeurs minimales de température du béton frais à respecter selon l'épaisseur de l'ouvrage à réaliser. Il faut éviter que la température du béton excède de plus de 10 °C les valeurs minimales spécifiées au tableau 2.

1 Référence 5.4

TABEAU 2Températures de béton minimales acceptables à la mise en place ²

Épaisseur de la section (m)	Températures °C
	minimales
Moins de 0,3 m	10
De 0,3 m à 1 m	10
De 1 m à 2 m	5
Plus de 2 m	5

Les coins et les bordures des ouvrages de béton sont plus sensibles aux pertes de température et demandent une attention particulière.

2.3 ÉLÉMENTS EN CONTACT AVEC LE BÉTON

La neige et la glace doivent être enlevées de tous les éléments en contact avec le béton (coffrages, acier d'armature, etc.) juste avant sa mise en place. Les surfaces en contact avec le béton fraîchement placé, de même que les matériaux de fondation et les armatures, doivent être à des températures légèrement supérieures au point de congélation, soit environ 2 °C ³.

3. MESURES PRÉVENTIVES

La norme CSA A23.1/2 spécifie que tous les matériaux et les équipements indispensables pour assurer une protection convenable et une cure adéquate doivent être disponibles avant le début de la mise en place du béton. Les propriétés mécaniques du béton se jouent aux premières heures, période où le béton est particulièrement vulnérable.

3.1 RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

Le béton frais développe peu de résistance à de basses températures. Il doit être protégé jusqu'à ce qu'il atteigne une résistance à la compression minimale de 3,5 MPa. Cette valeur correspond à une hydratation suffisante du béton lui permettant de résister, sans subir de dommages, à l'augmentation du volume de l'eau lors du gel. La résistance finale du béton est d'autant plus affectée lorsque le gel est précoce. La figure 1 représente l'effet des basses températures sur la résistance à la compression du béton.

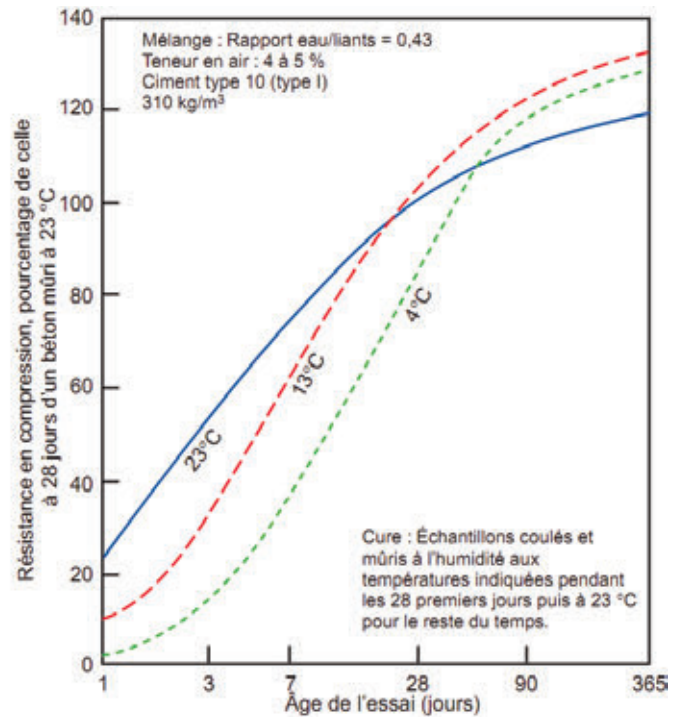
2 Référence 5.4

3 Référence 5.2

4 Référence 5.5

4 CSA A23.2-3C, Confection et cure des éprouvettes de béton destinées aux essais de compression et de flexion.

La norme CSA A23.1 rapporte que lorsque le béton a généralement une résistance suffisamment forte pour résister aux dommages initiaux dus au gel lorsqu'il atteint une résistance de 7 MPa.

**FIGURE 1**

Effet des basses températures sur la résistance à la compression du béton à différents âges. ⁴

3.2 ÉCHANTILLONS DE BÉTON

Les échantillons de béton, qui servent à évaluer la qualité du béton livré, doivent être protégés du froid durant les 24 premières heures suivant leur prise. Pendant la période de durcissement initial, les échantillons doivent être conservés dans un environnement contrôlé dont la température est maintenue à $20 \pm 5^\circ \text{C}$ ⁵. Les températures de durcissement maximal et minimal à l'intérieur de l'enceinte doivent être notées. Ces exigences requièrent une installation à température et humidité contrôlées sur le chantier.

3.3 AIR ENTRAÎNÉ

L'utilisation d'air entraîné est fortement recommandée lors du bétonnage par temps froid.

3.4 TEMPS DE PRISE

Il est reconnu qu'une baisse de température ambiante augmente le temps de prise du béton et le ressuage

TABLEAU 3Temps de prise du béton à diverses températures ⁶

Température °C	Temps de référence
21 °C	x heures
16 °C	x + 2 heures
10 °C	x + 5 heures
4 °C	x + 8 heures
-1 °C	x + 13 heures
-7 °C	aucune prise - gel

3.5 ACCÉLÉRATEUR DE PRISE

Si l'utilisation d'adjuvants accélérateurs de prise est commandée lors du bétonnage par temps froid, elle n'empêche pas cependant le béton de geler. Les adjuvants accélérateurs de prise utilisés doivent être conformes à la norme ASTM C494, types C et E.

Ces adjuvants apportent les avantages suivants :

- > plus faible demande en eau pour le type E. (minimum de 5 %);
- > amélioration de l'ouvrabilité durant la mise en œuvre;
- > accélération du temps de prise;
- > augmentation de la résistance à la compression initiale;
- > démontage et réutilisation plus rapide des coffrages.

Les accélérateurs de prise peuvent être chlorés ou non chlorés. Un accélérateur non chloré contient moins de 0,05 % d'ions chlorure en masse⁷.

NOTE

En aucun temps, il ne faut considérer les accélérateurs comme des antigels.

AVERTISSEMENT

En plus d'accélérer le développement de la résistance à la compression, le chlorure de calcium peut accroître le retrait au séchage, la corrosion éventuelle des armatures, la décoloration (fonce le béton) et les risques d'écaillage du béton.

3.6 PROTECTION ET CHAUFFAGE

Dans des conditions hivernales, les appareils de chauffage portatifs, les coffrages isolés, les couvertures, les abris ou les paravents s'avèrent des moyens de protection efficaces. Il est possible que l'utilisation d'isolants soit suffisante pour protéger le béton grâce à la chaleur d'hydratation dégagée. Par contre, lorsque les températures sont plus froides, il est préconisé d'utiliser des appareils de chauffage lors de la mise en place. En tout temps, il faut éviter de surchauffer le béton et des précautions particulières doivent être prises en raison du dégagement de monoxyde de carbone de certains appareils sur des sites hermétiques. Il en va de même pour la protection contre le feu.

3.7 DÉCOFFRAGE

Lors du bétonnage par temps froid, le temps de prise du béton et le développement de la résistance sont beaucoup plus lents. Les coffrages doivent donc être maintenus en place plus longtemps. Dans un environnement chauffé, les coffrages servent à distribuer la chaleur de manière plus homogène dans le matériau. Ils sont également utiles pour prévenir le séchage et le surchauffage locaux. Le temps requis avant le décoffrage peut se baser sur :

1. les spécifications de la norme CSA A23.1/.2 selon la classe d'exposition du béton;
2. les spécifications du devis basées sur une résistance structurale minimale;
3. une résistance à la compression minimale de 70 % ou un minimum de jours de protection. La figure 2 indique le moment approprié pour l'enlèvement des coffrages isolés afin d'éviter la fissuration causée par les contraintes thermiques. Cet abaque⁸ utilise des températures ambiantes inférieures à 0 °C.

⁶ Adaptation de la référence 5.1

⁷ Référence 5.4

⁸ Pour obtenir de plus amples renseignements sur la durée des protections en période hivernale, consulter la référence 5.3

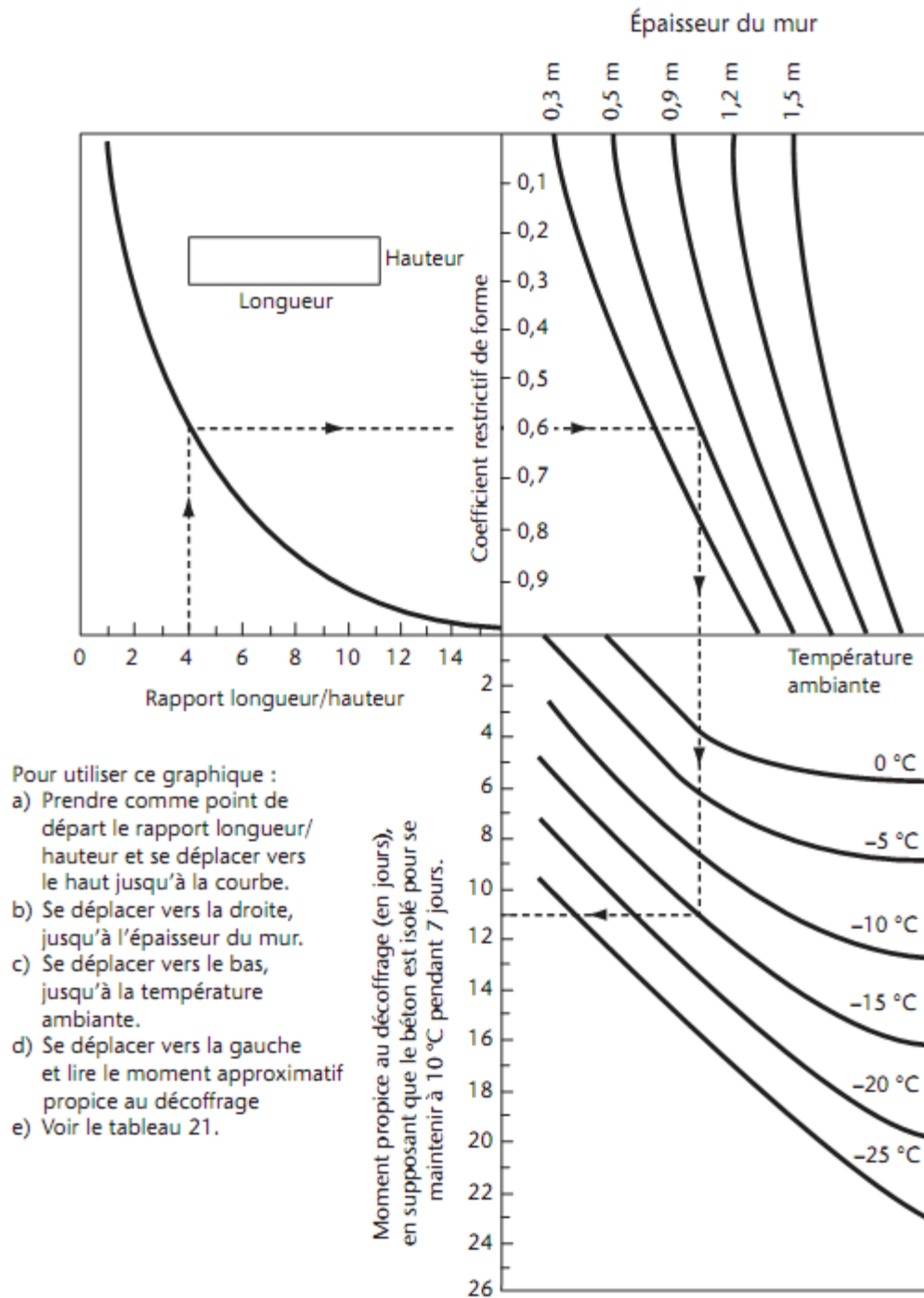


FIGURE 2 Détermination graphique du moment approprié pour l'enlèvement des coffrages isolés afin d'éviter la fissuration causée par les contraintes thermiques

With the permission of Canadian Standards Association, material is reproduced from CSA Standard CSA A23.1-F09/A23.2-F09, Béton: Constituants et exécution des travaux/Méthodes d'essai et pratiques normalisées pour le béton which is copyrighted by Canadian Standards Association, 178 Rexdale Blvd., Toronto, Ontario, M9W 1R3. While use of this material has been authorized, CSA shall not be responsible for the manner in which the information is presented, nor for any interpretations thereof. A23.1-F09/A23.2-F09 is intended to be used in its entirety. Caution should be exercised in extracting individual clauses or tables and using them in project specifications, since taking them out of context can change their meaning." For more information on CSA or to purchase standards, please visit our website at www.shopcsa.ca or call 1-800-463-6727.

4. RECOMMANDATIONS

- > Éviter la mise en place du béton en conditions extrêmes (inférieures à -18°C).
- > Effectuer une rencontre prébétonnage pour définir les méthodes de protection durant la mise en place, l'équipement type de couvertures, d'isolation, de chauffage ainsi que les méthodes de cure³.
- > Augmenter la quantité de ciment ou utiliser un ciment HE lors du dosage. La quantité de chaleur dégagée lors de la prise du béton est fonction de la quantité de ciment.
- > Utiliser des accélérateurs de prise et des entraîneurs d'air.
- > Établir des procédures pour enlever toute présence de neige ou de glace dans les coffrages lors du bétonnage.
- > Augmenter le degré de protection lorsque la température diminue.
- > Utiliser des abris chauffés et des couvertures isolantes.
- > Éviter les cures incluant de l'eau (bruine, etc.).
- > Établir des procédures de vérification de la température du béton en place.
- > Prévoir des procédures pour éviter le séchage trop rapide du béton causé par un chauffage excessif et la présence de vent.
- > Refroidir lentement le béton avant de l'exposer directement à l'air froid.
- > Établir des méthodes de vérification de la qualité du béton en place.
- > Consulter le «Guide to Cold Weather Concreting» et «Standard Specification for Cold Weather Concreting» du comité ACI 306 (références 5.6 et 5.7)

5. RÉFÉRENCES

- 5.1 CSA. *Béton : Constituants et exécution des travaux/Méthodes d'essai et pratiques normalisées pour le béton*. Canada. Association canadienne de normalisation, 2009, 674 p. ,(CSA A23.1-F09/A23.2-F09).
- 5.2 ACC. *Dosage et contrôle des mélanges de béton, 8^e édition canadienne*, Association Canadienne du Ciment, Canada, 2011. 411 p. EB101-08TF.
- 5.3 John M. Scanlon, Robert J. Ryanmars. *Accelerating Admixtures for Cold Weather Concreting*, Concrete Construction, mars 1990.
- 5.4 ACI. *Report on Chemical Admixtures for Concrete*, American Concrete Institute, États-Unis, 2010, 61 p. (ACI 212.3R-10)
- 5.5 ABQ. *Fiche prébétonnage*. Association béton Québec, Québec, 2 p. 2013.
- 5.6 ACI. *Guide to Cold Weather Concreting*, American Concrete Institute, État-Unis, 2010, 26 p. (ACI 306R-10)
- 5.7 ACI. *Standard Specification for Cold Weather Concreting (Reapproved 2002)*, American Concrete Institute, États-Unis, 1990, 5 p.(ACI 306.1-90)

L'ajout d'eau en période hivernale est déconseillé, car cette procédure

- > modifie le rapport eau/liants ;
- > retarde la prise du béton (l'addition de 5 à 10 litres d'eau par m³ peut retarder la prise du béton de 2 heures).

NOTE IMPORTANTE

Les mesures de précautions contre le gel du béton génèrent des coûts supplémentaires. Par contre, il faut considérer que ces coûts seront moindres que ceux reliés aux réparations ultérieures.



MISE EN GARDE : L'Association béton Québec publie ce document à titre consultatif seulement et ne peut être tenue responsable d'erreurs ou d'omissions reliées à l'information et à la consultation de ce document.

 Association
Béton
Québec
LA référence

520, D'Avaugour, bureau 2200
Boucherville (Québec) J4B 0G6
Tél. : (450) 650-0930
Sans frais : (855) 650-0930
Télé. : (450) 650-0935
Courriel : info@betonabq.org