



DOCUMENT TECHNIQUE
INFRASTRUCTURES

GCI-9A – OUVRAGES D'ART

Guide de conception
Élaboration des mélanges de bétons pour
les structures et ponts

Date d'émission : 31 octobre 2023

Addenda n°	Date	Description	Préparé par
0	-	Aucun addenda	-

AVIS

Le présent document n'a pas une portée normative ou réglementaire. Le présent document consiste en un guide d'aide à la conception permettant de déterminer la composition des bétons afin d'en maximiser la performance selon l'usage souhaité. Ce guide a pour but de contribuer à maximiser la durabilité des ouvrages en béton, à réduire des gaz à effet de serre induite par la fabrication des mélanges de béton, à adapter la conception au besoin du projet à adapter les matériaux selon l'application (le bon matériau au bon endroit) et favoriser l'innovation. Le Concepteur signataire des plans et devis demeure responsable des matériaux prescrits dans les documents contractuels

AVANT-PROPOS

Le présent document a été préparé et approuvé par le comité formé des membres suivants :

Oumar Demba Ba, ing.	Ingénieur, DGSA – Ponts et tunnels, SIRR
David Boissinot, ing.	Chef d'équipe Conception, DGSA – Ponts et tunnels, SIRR
Sacha Dumeignil, ing.	Ingénieur, DEST, SIRR
Vannody Thay, tech.	Agent technique, DGSA – Ponts et tunnels, SIRR

Table des matières

AVIS	2
AVANT-PROPOS.....	2
1. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE À CONSULTER	3
2. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU GUIDE.....	3
3. EXIGENCES DE BASE : FORMULATION DES BÉTONS ET MISE EN ŒUVRE	3
4. EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES : FORMULATION DE BÉTON ET MISE EN ŒUVRE	4
4.1 EXPERTISE DE MATÉRIAUX ET ACCOMPAGNEMENT EN CONCEPTION PAR LA DEST	5
4.2 LA PROFONDEUR DE DÉMOLITION ADAPTÉE AUX DEGRÉS DE CONTAMINATION EN IONS CHLORURE.....	5
4.3 LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION.....	6
4.4 LES AJOUTS CIMENTAIRES ET LIANTS COMBINÉS	7
4.5 UTILISATION D'UN BÉTON À FAIBLE RETRAIT	7
4.6 UTILISATION D'UN INHIBITEUR DE CORROSION	11
4.7 UTILISATION DE FIBRES SYNTHÉTIQUES.....	12
4.8 UTILISATION DE GRANULAT GRANITIQUE	12
4.9 L'UTILISATION D'UN AGENT DE CURE	13
4.10 LA RESTRICTION DES DIMENSIONS DES ÉLÉMENTS À BÉTONNER	13
4.11 LA RESTRICTION DE L'HORAIRE DE BÉTONNAGE	13
4.12 LA RESTRICTION DE LA TEMPÉRATURE DU BÉTON FRAIS	14
4.13 LES BESOINS ARCHITECTURAUX.....	14
4.14 EXIGENCES PARTICULIÈRES POUR LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS.....	17
5. UTILISATION DE MATÉRIAUX INNOVANTS :	18
5.1 BÉTON FIBRÉ ULTRA HAUTE PERFORMANCE (BFUHP)	18
ANNEXE VDM1 - FORMULAIRE TYPE DE BÉTON DU PROJET	19

1. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE À CONSULTER

Les Tomes III et VII du ministère des Transports et de la Mobilité Durable du Québec (MTMD), les DTNI-10A, 10F, 10G et 10H, le DTSI-9A ainsi que la norme CSA S6 s'appliquent au présent guide.

Toutes les autres normes référées dans les documents énumérés plus haut complètent également le présent guide.

2. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU GUIDE

Le SIRR étant responsable d'assurer la pérennité des actifs de la Ville de Montréal, à cet effet, le guide de conception Élaboration des mélanges de bétons pour les structures et ponts a été élaboré afin d'assister les chargés de projet et les concepteurs dans leur projet de travaux de réfection ou de reconstruction des structures.

Ce guide a pour but de contribuer à maximiser la durabilité des ouvrages en béton, à réduire des gaz à effet de serre entrant dans la fabrication des mélanges de béton, à adapter la conception au besoin du projet à adapter les matériaux selon l'application (le bon matériau au bon endroit) et favoriser l'innovation.

Ce guide s'applique à l'ensemble des ouvrages d'art, notamment :

- Pont;
- Passerelle;
- Ponceau;
- Tunnel;
- Mur de soutènement;
- Trottoir structural.

3. EXIGENCES DE BASE : FORMULATION DES BÉTONS ET MISE EN ŒUVRE

La nomenclature des bétons à utiliser est celle utilisée par le MTMD telle que décrite dans le tome VII, norme 3101 du MTMD.

Les exigences de mise en œuvre des travaux de béton sont les mêmes que celles du MTMD tel que décrites au Cahier des charges et devis généraux (CCDG), dans le manuel d'entretien des structures et dans le manuel de conception des structure du Ministère.

Les exigences des documents du Ministère sont considérées comme les exigences minimales à utiliser. Ces exigences sont suffisantes et peuvent être utilisées pour les travaux sur des ouvrages dont la fin de vie utile est prévue à court ou moyen terme (inférieur à 15 ans).

4. EXIGENCES SUPPLÉMENTAIRES : FORMULATION DE BÉTON ET MISE EN ŒUVRE

En plus des exigences de base mentionnées à la section 3 du présent document, des exigences supplémentaires sont nécessaires pour :

- les travaux de réfection visant à prolonger la vie utile des ouvrages existants. Ainsi, la conception doit être réalisée de façon à maximiser la durabilité afin de ne pas avoir à intervenir de nouveau sur l'ouvrage à moyen terme (plus de 15 ans);
- les ouvrages neufs.

Les exigences supplémentaires visent principalement à optimiser les performances et la durabilité des ouvrages en béton. Chaque élément de l'ouvrage doit être étudié afin d'attribuer les exigences supplémentaires propres à ceux-ci. Pour ce faire, plusieurs points doivent être considérés dans la conception dont notamment celles ci-dessous:

1. le besoin d'expertises de matériaux;
2. la profondeur de démolition adaptée aux degrés de contamination en ions chlorure et aux contraintes structurales;
3. le choix de la résistance en compression (autrement que pour des raisons structurales);
4. le choix des ajouts cimentaires et des liants combinés (binaire, ternaire ou autre);
5. l'utilisation d'un béton à faible retrait (compensateur, réducteur de retrait, exigences particulières de mise en œuvre : suivi par maturométrie, décoffrage hâtif et cure par arrosage en continu);
6. l'utilisation d'un inhibiteur de corrosion;
7. l'utilisation de fibres métalliques ou synthétiques;
8. l'utilisation de granulats granitiques;
9. l'utilisation d'enduit imperméabilisant;
10. la restriction des dimensions des éléments à bétonner;
11. la restriction de l'horaire de bétonnage;
12. la restriction de la température du béton frais;
13. les besoins architecturaux;
14. les exigences particulières pour les éléments préfabriqués.

Ces exigences sont discutées plus en détail dans les sous-sections 4.1 à 4.14 du présent document.

L'ensemble des exigences concernant la formulation du béton et la mise en œuvre doivent être spécifiés dans le devis technique spécial (DTSI-9A) et en annexe dans le formulaire de béton.

4.1 EXPERTISE DE MATÉRIAUX ET ACCOMPAGNEMENT EN CONCEPTION PAR LA DEST

La Division Expertise Soutien Technique (DEST) du Service des infrastructures du réseau routier (SIRR) possède une équipe disponible afin de réaliser des travaux d'expertise sur les matériaux. La DEST peut réaliser les expertises à l'interne ou faire appel à des mandataires externes. Le Chargé de projet de la Ville de Montréal peut faire une demande d'accompagnement à la DEST.

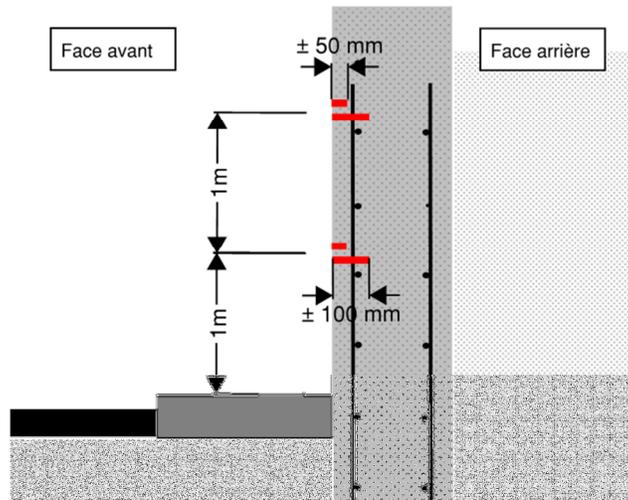
Lors d'un projet de réfection d'une structure, à l'étape de l'avant-projet, une première rencontre doit être tenue entre le chargé de projet de la Ville, les concepteurs internes ou externes et les experts en matériaux de la DEST afin de passer en revue les informations disponibles sur les matériaux et déterminer si un programme d'expertise du béton existant est requis et, le cas échéant, en déterminer la portée. Le plan d'expertise peut comprendre plusieurs analyses comme des profils de contamination du béton en ions chlorure des murs, des relevés de potentiels de corrosion de dalles, des relevés au géoradar, des relevés de la présence d'amiante, les propriétés mécaniques du béton existant et de la présence de réaction alcali-granat (RAG), etc.

Lors d'un projet de réfection ou de construction d'une nouvelle structure, à l'étape des plans et devis, une rencontre de conception des ouvrages en béton doit être tenue afin de discuter des exigences supplémentaires requises (section 4 du présent document). Cette rencontre doit également être tenue entre le chargé de projet de la Ville, les concepteurs internes ou externes et les experts en matériaux de la DEST.

4.2 LA PROFONDEUR DE DÉMOLITION ADAPTÉE AUX DEGRÉS DE CONTAMINATION EN IONS CHLORURE

Pour la réparation d'ouvrages existants, la profondeur de démolition doit être adaptée aux degrés de contamination en ions chlorure afin de retirer un maximum de chlorure tout en respectant les contraintes de capacité structurale de l'élément à réparer. Pour ce faire, il est recommandé d'effectuer un relevé de contamination.

Pour les éléments verticaux et horizontaux exposés aux ions chlorure, la contamination doit être connue en profondeur et en hauteur. Par exemple, pour les murs, il est typiquement requis d'effectuer des prélèvements dans la portion du recouvrement (± 50 mm de profondeur) et dans la portion derrière le premier rang d'armature (± 100 mm de profondeur). Verticalement, les échantillons sont typiquement prélevés à chaque mètre.



Lorsque la démolition doit être limitée en raison des contraintes structurales, un agent inhibiteur de corrosion peut être prévue dans le béton de réparation et/ou sur les armatures pour limiter l'effet des ions chlorure n'ayant pu être retirés, voir section 4.6 ci-dessous.

4.3 LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION

La résistance à la compression des éléments doit être déterminée par le Concepteur en structure mandaté au projet. Le tableau de la norme 3101 peut servir de référence pour les ouvrages neufs afin de déterminer les caractéristiques de performance de base du mélange à utiliser. Les résistances doivent être discutées avec le Chargé de projet et la DEST, notamment les éléments en béton de 50 MPa et plus.

De façon générale, Il est préférable de limiter la résistance du béton à la compression à 35 MPa pour les réparations conventionnelles ou les remplacements d'éléments sur un ouvrage existant afin de réduire les effets du retrait (applicable pour les trottoirs, les glissières et les joints de tablier notamment).

4.4 LES AJOUTS CIMENTAIRES ET LIANTS COMBINÉS

Afin de favoriser la réduction des gaz à effet de serre ainsi qu'améliorer la durabilité, la Ville de Montréal priorise l'utilisation d'ajouts cimentaires tels que régis à la norme CSA A3000 en vigueur pour la fabrication des bétons.

Les ajouts cimentaires peuvent être combinés ou en complément du liant employé dans le mélange de béton. Les ajouts cimentaires sont les cendres volantes de classe F, les laitiers de hauts fourneaux, la fumée de silice, les métakaolins et la poudre de verre. Tout autre ajout cimentaire utilisé doit être autorisé par la Ville de Montréal préalablement.

Lors de bétonnage par temps froid, à moins de spécifications particulières concernant le projet, lorsqu'un liant ternaire est requis dans le mélange de béton, celui-ci est utilisé tout au long du projet, peu importe la température. Les liants d'aujourd'hui produisent assez de chaleur d'hydratation pour assurer la prise du béton en complément des mesures de protection obligatoire lors de bétonnage par temps froid. Ainsi, contrairement aux exigences du MTMD, il n'est pas nécessaire de modifier le liant pour un binaire en période automnale ou par temps froid.

4.5 UTILISATION D'UN BÉTON À FAIBLE RETRAIT

L'utilisation d'un béton considéré à faible retrait permet d'espacer la distance entre les joints (de construction, de contrôle, d'esthétisme et de dilatation). Il permet aussi de limiter la fissuration causée par le retrait de séchage. Ce béton peut être considéré comme un béton haute performance (BHP).

L'une des méthodes nécessaires pour arriver à un béton à faible retrait est d'utiliser un agent compensateur de retrait ou réducteur de retrait ou une combinaison de ceux-ci.

Les éléments de béton pouvant utiliser un béton à faible retrait sont des éléments dont les surfaces sont exposées aux agents de déglçage notamment tel que les trottoirs, les murs de soutènement, les culées et les glissières en béton. Des méthodes de mise en œuvre doivent être adaptées à ce type de mélange en fonction de leur composition. Ces méthodes sont discutées dans les sections ci-dessous.

4.5.1 Utilisation d'un adjuvant compensateur de retrait

Le béton à retrait compensé est fabriqué à partir d'un système de composants expansifs dans lequel l'expansion initiale, si elle est correctement limitée, compense les déformations causées par le retrait. Lorsqu'ils sont mélangés au ciment Portland et à l'eau, les composants expansifs produisent des cristaux d'ettringite et/ou d'hydroxyde de calcium en plaquettes. Le composant expansif de l'adjuvant compensateur de retrait doit être de type K, M, S ou G selon la norme ACI 223.R.

Les produits suivants sont approuvés par la Ville de Montréal :

- Agent expansif de type G : Conex du manufacturier Euclid
- Agent expansif de type G : Conex NF du manufacturier Euclid
- Agent expansif de type G : Expancrete du manufacturier Mapei

Mise en œuvre :

Les exigences suivantes doivent être exécutées afin d'obtenir un béton à retrait compensé optimal.

- L'adjuvant compensateur de retrait doit être ajouté au mélange de béton selon un taux de 6 % poids du liant pour les produits Expancrete et Conex ou selon un taux de 3,9 % pour le produit Conex NF. Toute dérogation de cette proportion doit être entendue avec la DEST.
- Un pourcentage minimum de renforcement structural (armature) doit être inclus dans l'élément afin de créer les contraintes pour l'expansion.
- La température du béton frais doit être le plus près de 20°C et ne doit pas dépasser 25°C
- Un décoffrage hâtif (lorsque le béton atteint 7 MPa mesuré par maturométrie) et la mise en place d'une cure à l'eau type 3 (cure à l'eau 7 jours) selon CSA A23.1, tableau 19 (apport en eau en continu) doit être réalisée en simultané.

Il est important de préciser les exigences de décoffrage hâtif, de suivi par maturométrie et de la cure à l'eau par apport continu (système d'arrosage branché à une borne-fontaine) dans le formulaire de béton devant être joint en annexe du DTSI-9A.

Toute demande de dérogation à ces exigences doit être justifiée et approuvée par la Ville.

Maturométrie :

La résistance à la compression dans l’ouvrage doit être mesurée au moyen de la maturométrie réalisée selon la norme ASTM C1074. Cette méthode est un moyen non destructif aidant à permettre les activités de décoffrage au moment voulu.

Une courbe de calibration du mélange de béton doit être réalisée et présentée par l’Entrepreneur avant le bétonnage des éléments. La courbe de calibration doit être réalisée pour chaque mélange de béton ou à tout changement de constituants (gros granulats, granulats fins, adjuvant, ajout cimentaire et liants).

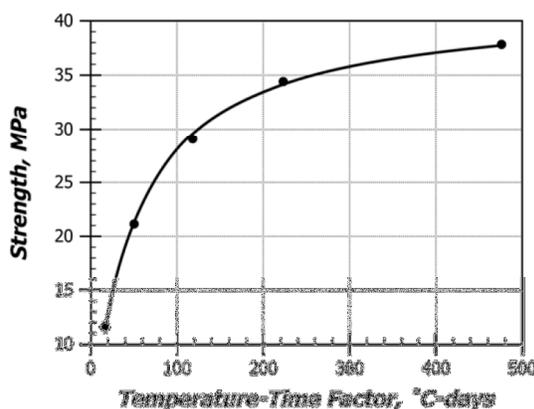
Les essais de résistance à la compression pour la calibration de la courbe de maturité doivent être réalisés lorsque le béton est à un jeune âge afin d’être représentatif des délais de décoffrage exigés au chantier. En fonction du mélange utilisé, les essais peuvent être réalisés dans les heures suivant la prise initiale du béton.

La température de référence (datum température) utilisée dans le calcul de la maturité (et par conséquent de la résistance à la compression) pris en considération doit être de 0 degré Celsius. Une température de -2 degrés Celsius pour le datum peut être acceptée dans le cas de travaux par temps froid seulement.

Selon l’expérience de la Ville, les mélanges de béton utilisés dans le cadre des ouvrages d’art obtiennent une résistance suffisante afin de réaliser le décoffrage hâtif dans un intervalle de 8 à 12 heures suivant le bétonnage.

Le concepteur doit s’assurer que ces exigences figurent au DTSI-9A du contrat afin que l’entrepreneur puisse le prendre en considération dans sa planification.

Exemple de courbe de maturométrie :



$M(t)$ = Facteur température-temps
 T_a = Température moyenne du béton durant l’intervalle calculé
 T_0 = Datum température (0 degré C)
 Δt = intervalle de temps (en jours ou heures)

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t$$

4.5.2 Utilisation d'un réducteur de retrait

L'adjuvant réducteur de retrait agit en réduisant les tensions capillaires qui se créent dans le système poreux du béton.

Les adjuvants réducteurs de retrait sont, de façon générale, moins performants que les compensateurs de retrait. Toutefois, les exigences de cures sont plus facile à réaliser, particulièrement lorsque l'apport d'eau en continu est difficile (absence de borne fontaine à proximité).

L'adjuvant doit être conforme à l'article 4.2.4.3 de la norme CSA A23.1-19 et doit être de type S selon l'ASTM C494

Les produits suivants sont approuvés par la Ville de Montréal pour un dosage de 7 l/m³;

- MasterLIFE SRA 20 (BASF);
- Sika Control-75 (Sika Canada);
- MasterLife SRA 035 (BASF);
- Mapecure SRA 25 (MAPEI)
- Eclipse 4500 (GCP applied technologies);
- Eclipse Floor 200 (GCP applied technologies);
- Eucon SRA-XT (Adjuvants Euclid Canada).

Toute demande de dérogation de l'utilisation d'un produit non listé ci-haut ou d'un changement de proportion dans le béton doit être approuvée par la DEST.

Il est à noter que les adjuvants réducteurs de retrait peuvent affecter la stabilité du réseau de bulle d'air et l'augmenter de 2 à 3 %. Les essais doivent être préalablement réalisés par le fournisseur et les résultats transmis avec la formule de béton.

Mise en œuvre

Les exigences suivantes doivent être exécutées afin d'obtenir un béton incorporant un réducteur de retrait optimal.

- La température du béton frais doit être le plus près possible de la température le minimum prescrit à la fiche de béton, tout en restant dans l'intervalle du tableau 14 de la norme CSA A23.1 et doit être limité à 25°C;
- Une cure supplémentaire de type 2 (cure humide 7 jours) selon le tableau 19 de la CSA A23.1 doit minimalement être utilisée, voir extrait ci-dessous.
- Si des travaux de bétonnage sont susceptibles d'être réalisés par temps froid, les méthodes de mise en œuvre et de cure peuvent varier.

Le concepteur doit s'assurer que ces exigences figurent au DTSI-9A du contrat.

Tableau 19
Régimes de cure admissibles
(Voir les articles [4.1.1.1.1](#), [7.1.2.2](#), [7.8.1](#), [7.8.2.1](#) et [7.9.9](#), et le tableau [2](#).)

Type de cure	Appellation	Description
1	Cure de base	3 jours à une température ≥ 10 °C ou pendant le temps nécessaire pour atteindre 40 % de la résistance spécifiée.
2	Cure supplémentaire*	7 jours à une température ≥ 10 °C et pendant le temps nécessaire pour atteindre 70 % de la résistance spécifiée.
3	Cure prolongée	Période de cure par voie humide de 7 jours à une température ≥ 10 °C et pendant le temps nécessaire pour atteindre 70 % de la résistance spécifiée. Les types de cure admissibles sont les suivantes : nappe d'eau, arrosage continu, matériau absorbant ou toile maintenue continuellement mouillée.

* Lorsque du béton à la fumée de silice est utilisé, des méthodes de cure additionnelles doivent aussi être utilisées. Voir l'article [1.3.13](#).

Notes :

- 1) La cure des surfaces de béton préfabriqué doit être conforme à CSA A23.4.
- 2) Le béton devrait pouvoir sécher à l'air pendant une période d'au moins un mois après la fin de la cure, avant qu'il soit exposé à des produits chimiques de déglacage.
- 3) Le taux d'accroissement de la résistance à la compression du béton est considérablement ralenti à des températures de moins de 10 °C.

--

4.6 UTILISATION D'UN INHIBITEUR DE CORROSION

L'utilisation d'un inhibiteur de corrosion dans le béton frais permet de ralentir la progression des ions chlorure et par le fait même, d'augmenter le seuil d'amorce à la corrosion. L'adjuvant inhibiteur de corrosion est ajouté à l'usine ou en chantier et est mélangé uniformément dans le béton frais. Une fois le béton durci, l'adjuvant stabilise la couche de passivation de l'armature.

Les adjuvants inhibiteurs de corrosion éprouvée sont à base de nitrite de calcium, sans chlorure et doivent être à une concentration de 30 ± 2 % par poids de solution. Le dosage dans les bétons utilisant cet adjuvant à la Ville de Montréal est de 12 l/m³.

L'usage de ce type d'adjuvant doit être considéré lorsque les éléments armés sont fortement exposés aux ions chlorure (ex. murs, glissières et trottoirs structuraux). Il peut également être utilisé lorsque la durée de vie utile d'un élément doit être prolongée.

En réfection, cet adjuvant peut être utilisé lorsque la profondeur de démolition d'un élément à réparer n'est pas suffisante pour retirer complètement les ions chlorure du béton conservé.

4.7 UTILISATION DE FIBRES SYNTHÉTIQUES

L'utilisation du terme "fibre" dans cette section réfère aux macrofibres synthétiques. L'utilisation des macrofibres synthétiques est nécessaire afin de réduire le retrait de séchage. Les fibres ont un effet bénéfique sur le comportement du béton après fissuration. Le dosage en fibre requis est le minimum compris entre 1,8 à 2,4 kg/m³ (2,3 kg/m³ est typiquement utilisé).

Les fibres sont utilisées dans les éléments minces ou de formes particulières (finissant en pointe ou ayant une forme arrondie) comme notamment les réparations avec ou sans surépaisseur de mur, dalle, poutre, etc.

Lors de réparation avec ou sans surépaisseur avec coffrage, particulièrement pour les réparations par bétonnage sous-pression des hourdis inférieurs et des dessous de dalle, le concepteur doit valider les détails aux plans, notamment les dimensions de la réparation et du quadrillage d'armature ou du treillis métallique pour assurer une bonne adhérence entre la réparation et le béton existant afin de faciliter la mise en œuvre lors du pompage.

Des exigences concernant la finition des surfaces apparentes doivent être prévues au DTSI-9A, notamment l'interdiction d'effectuer une finition au balai pour les trottoirs pour éviter de relever les fibres. La méthode de finition à préconiser est celle à la truelle de magnésium.

4.8 UTILISATION DE GRANULAT GRANITIQUE

L'utilisation de granulats granitiques est obligatoire pour tous les bétons à haute performance (BHP). Les définitions et les exigences de ces bétons sont décrites au DTNI-10H. Notez qu'un BHP peut avoir une résistance à la compression inférieure à 50 MPa s'ils se conforment aux autres exigences de performances décrites au DTNI-10H.

Pour les ouvrages d'art, les éléments exposés aux contaminants nécessitant un BHP peuvent être par exemple:

- dalle;
- fondation;
- glissière;
- trottoir;
- mur de soutènement.

La grosseur nominale du gros granulats est déterminée en fonction du type d'élément (mince, géométrie, etc.) et du type de fini désiré.

4.9 L'UTILISATION D'UN AGENT DE CURE

Pour les surfaces exposées aux sels de déglacage dont la résistance à l'écaillage risque de ne pas être atteinte (âge du béton inférieur à 45 jours) avant les premières applications, le concepteur doit prévoir l'application d'un agent de cure formant membrane conforme aux normes 3501 du MTMD et ASTM C1315.

Pour les éléments devant recevoir un enduit anti-graffiti, il est important de noter que la compatibilité entre les agents de cure et les enduits anti-graffiti doit être validée avec la DEST à l'étape de la conception. Normalement, il est requis de retirer l'agent de cure par jet de sable avant l'application de l'anti-graffiti. Le cas échéant, cette exigence doit être ajoutée au DTSI-9A.

4.10 LA RESTRICTION DES DIMENSIONS DES ÉLÉMENTS À BÉTONNER

Afin de minimiser les risques de fissuration causée par le retrait, la restriction de la longueur des éléments bétonnés par coulées doit être envisagée notamment pour les glissières, les chasse-roues, les trottoirs sur dalle, les murs et certains types de réparation. Le concepteur doit établir avec le Chargé de projet et la DEST les dimensions maximales souhaitées de certains éléments pouvant être affectés par le retrait empêché. La dimension des éléments doit être déterminée en cohérence avec les autres mesures de limitation de la fissuration de retrait (particulièrement la composition du béton: sections 4.5), des contraintes géométriques et de mise en œuvre.

Dans la mesure du possible, il est préférable, par exemple, de bétonner en quinconce plusieurs sections de glissières et de trottoirs afin de limiter les longueurs d'éléments en béton linéaires à couler et ainsi limiter les contraintes dans le béton menant à la fissuration de retrait.

4.11 LA RESTRICTION DE L'HORAIRE DE BÉTONNAGE

Le concepteur doit déterminer avec le Chargé de projet et la DEST les exigences particulières concernant l'horaire de bétonnage.

Typiquement, il est convenu que l'horaire de bétonnage est le même que celui décrit dans le CCDG du MTMD. Toutefois, l'exigence de bétonnage de nuit (bétonnage par temps chaud) doit être étendue aux éléments composés de béton autoplaçant (réparation avec ou sans surépaisseur de murs par exemple) ou en béton de 50 MPa et plus, en raison de leur chaleur d'hydratation élevée.

Aussi, le Concepteur doit prendre en considération l'ensemble des contraintes de mise en place comme celle du décoffrage hâtif (court délai entre le bétonnage et le décoffrage) et celles issues de la gestion de la mobilité (horaire des entraves).

4.12 LA RESTRICTION DE LA TEMPÉRATURE DU BÉTON FRAIS

Le Concepteur doit déterminer avec le Chargé de projet et la DEST les exigences particulières concernant la température du béton frais.

Typiquement, il est convenu que les températures du béton frais sont les mêmes que celles indiquées dans la norme 3101 du MTMD. Toutefois, pour les bétons autoplaçants et les bétons de 50 MPa et plus, les températures du béton frais doivent être réduites.

La méthode de réduction de la température du béton frais doit être déterminée par l'Entrepreneur (fournisseur). Toutefois, les diverses possibilités (remplacement de l'eau par de la glace, refroidissement des granulats, utilisation d'azote liquide, etc.) doivent être discutées à l'étape de conception afin de valider les impacts sur le prix du matériau.

4.13 LES BESOINS ARCHITECTURAUX

Considérant le cadre bâti dense dans lequel sont localisées les structures, la Ville porte une attention particulière à l'intégration des ouvrages dans le milieu environnant. En ce sens, en plus des considérations de durabilité, la Ville accorde une grande importance à limiter au maximum la fissuration des bétons d'où notamment la pertinence de ce guide.

En plus des exigences liées au contrôle de la fissuration, certains projets comportent un volet architectural et de mise en valeur de l'ouvrage. Pour ce faire, un béton architectural peut être requis.

Par définition, un béton architectural est un béton (structural ou non) qui sera constamment exposé à la vue de la population et qui nécessite des attentions particulières dans la sélection des matériaux du béton, des coffrages, de mise en place et de finitions afin d'obtenir l'apparence architecturale désirée.

À titre d'exemple, un béton architectural peut avoir des exigences de couleur, de texture, de forme, d'uniformité et de patrons de surfaces.

Lorsqu'un élément de béton est voulu architectural, il doit être indiqué aux documents contractuels. Afin d'obtenir un résultat optimal, le Concepteur doit prévoir au devis une

série de mesures visant à conscientiser l'Entrepreneur et à minimiser le risque d'erreur et de reprise:

- prévoir au devis une réunion en début de projet entre l'architecte, le concepteur, l'architecte (le cas échéant), les chargés de projets de la Ville, la DEST, le Surveillant, l'Entrepreneur et le fournisseur de béton visant à passer en revue les exigences contractuelles et le résultat attendu;
- prévoir au devis la réalisation de maquettes, d'essais, d'échantillons préparatoires pour approbation par la Ville;
- Prévoir au devis la fourniture par l'Entrepreneur de dessins d'atelier des coffrages (même si non requis d'un point de vue structural);
- prévoir la fourniture par l'entrepreneur de sa méthode de mise en œuvre complète (coffrage, décoffrage, cure, finition, etc.).

La description des caractéristiques du béton architectural, des dimensions, de la finition et des diverses tolérances doivent être explicitement définies aux documents contractuels.

4.13.1 Béton coloré

Lorsqu'un béton doit avoir une couleur précise, que ce soit un béton peinturé, un béton avec pigments, un béton pâle avec ciment blanc ou un béton dont la couleur est obtenir à l'aide d'un mélange de différent liant, le concepteur doit indiquer au devis la couleur selon une palette de couleur universelle comme celle de RAL.

<https://www.ralcolorchart.com/about-ral-colors#:~:text=RAL%20is%20a%20color%20matching,Ausschu%C3%9F%20f%C3%BCr%20Lieferbedingungen%20und%20G%C3%BCtesicherung!>

Lorsque la couleur du béton doit être obtenue avec du ciment blanc ou par un mélange de divers liants, le Concepteur doit démontrer à la Ville que les exigences contractuelles puissent être atteintes par plusieurs fournisseurs de béton.

La couleur peut également être spécifiée en conformité avec la norme ASTM D1535 ou encore selon la norme AMS STD 595 « Colors Used in Government Procurement ».

4.13.2 Béton coloré avec pigmentation

Le concepteur doit déterminer avec le Chargé de projet et la DEST les exigences particulières concernant l'ajout de pigment dans le béton.

Normalement, la teneur en pigment est limitée à un maximum de 6 % de la masse du liant. À l'étape des plans et devis, des essais et maquettes doivent être prévus afin de valider le pourcentage requis et l'impact sur la couleur de l'ajout de pigment sur le béton. Les essais doivent permettre également de valider les propriétés du béton avec pigment (par exemple les pigments foncés par leur composition peuvent affecter la teneur en air entraîné dans le mélange). Les maquettes doivent servir à convenir d'une couleur de référence pour le projet.

Pour une utilisation supérieure à 6 %, une approbation de la DEST est requise. Au-delà de 6 %, certaines exigences supplémentaires peuvent être requises, notamment une cure à l'eau par arrosage en continu (type 3).

Le concepteur doit indiquer au devis que le fournisseur doit présenter les documents techniques attestant que les pigments rencontrent les exigences de la norme ASTM C979.

4.13.3 Béton avec ciment blanc

L'utilisation du ciment blanc doit être approuvée par la Ville à l'étape de l'avant-projet. Le ciment blanc comporte plusieurs particularités faisant de lui un produit d'exception.

Le ciment blanc est vendu par la compagnie White Cement. L'ensemble des fournisseurs de béton est en mesure de s'en procurer. Toutefois, ce ciment n'est pas disponible en silo de façon régulière chez les fournisseurs de béton livrant à la Ville. Il nécessite donc certaines activités supplémentaires pour les fournisseurs comme la vidange d'un silo pour le dédier au projet, le nettoyage et la préparation des bétonnières dédiés au projet (application d'une couche de pâte de béton blanc à la bétonnière pour éviter la contamination). Considérant aussi la prise plus rapide, l'Entrepreneur doit prévoir une main d'œuvre plus nombreuse sur les lieux lors des coulées.

Par conséquent, l'utilisation de ce ciment engendre des coûts importants qui doivent être considérés à l'étape de la conception.

D'un point de vue technique, ce ciment a des caractéristiques chimiques et physiques qui se comparent à un ciment HE (High Early Strength). Le potentiel de retrait du béton avec ce ciment est donc plus grand que celui d'un béton régulier.

Pour sa prise rapide et son potentiel de fissuration au retrait l'utilisation d'un ciment blanc n'est pas recommandée. Pour obtenir un béton pâle, il est préférable de discuter avec la DEST pour connaître les alternatives.

4.14 EXIGENCES PARTICULIÈRES POUR LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS

À l'étape des plans et devis, le Concepteur doit prendre connaissance des exigences prescrites au CCDG du ministère des Transports et au DTSI-9A de la Ville pour la préfabrication. Si des exigences particulières doivent être prévues, une rencontre avec la DEST doit être tenue.

Les spécifications pour les éléments préfabriqués doivent se faire selon l'option III de la norme CSA A23.4-16 (R2021), du tableau A.1. La mention de l'option doit être exigée aux documents contractuels.

Option II

Le maître d'ouvrage doit fournir toutes les exigences esthétiques et fonctionnelles, mais spécifier uniquement les performances structurales des éléments en béton préfabriqué. En spécifiant ces performances, il doit préciser toutes les combinaisons limitatives de charges et leurs points d'application. Cette information doit être fournie de manière à pouvoir calculer tous les détails d'un élément sans avoir à faire référence au comportement des autres parties de l'ouvrage.

Le fabricant doit :

- a) soumettre des dessins montrant l'installation et la configuration des éléments avec tous les détails et toutes les données de conception nécessaires à l'examen et dont la responsabilité incombe au maître d'ouvrage ; ou
 - b) soumettre des dessins montrant l'installation et la configuration des éléments à un examen général et assumer la part de responsabilité qui incombe au fabricant au chapitre du calcul structural (c.-à-d., pour les éléments individuels mais non pour leur incidence sur le bâtiment). Le fabricant du béton préfabriqué doit fournir des dessins portant le sceau d'un ingénieur.
- Le choix entre les alinéas a) et b) doit être fait, avant la période de soumission, par le maître d'ouvrage, qui doit énoncer clairement la démarche adoptée dans les spécifications afin d'attribuer correctement les responsabilités du calcul.

Option III

Le maître d'ouvrage doit définir les performances structurales exigées pour les éléments préfabriqués comme dans l'option II et indiquer une partie ou la totalité des exigences esthétiques et fonctionnelles en fonction des spécifications des performances. Il doit définir tous les facteurs limitatifs (p. ex., les épaisseurs minimales et maximales, les profondeurs, les masses et les dimensions limites). Il doit spécifier des limites acceptables pour toute autre exigence non indiquée.

Le fabricant doit :

- a) soumettre des dessins montrant l'installation et la configuration des éléments avec tous les détails et toutes les données de conception nécessaires à l'examen et dont la responsabilité incombe au maître d'ouvrage ; ou
 - b) soumettre des dessins montrant l'installation et la configuration des éléments à un examen général et assumer la part de responsabilité qui incombe au fabricant au chapitre du calcul structural (c.-à-d., pour les éléments individuels mais non pour leur incidence sur le bâtiment). Le fabricant du béton préfabriqué doit fournir des dessins portant le sceau d'un ingénieur.
- Le choix entre les alinéas a) et b) doit être fait, avant la période de soumission, par le maître d'ouvrage, qui doit énoncer clairement la démarche adoptée dans les spécifications afin d'attribuer correctement les responsabilités du calcul.

4.14.1 Contrôle qualitatif des éléments en béton préfabriqués à l'usine

À l'étape des plans et devis, une rencontre avec la DEST doit être tenue afin de déterminer ou de confirmer les exigences d'assurance qualité à l'usine à prévoir soit au contrat de l'Entrepreneur soit dans le mandat du laboratoire externe mandaté par la Ville.

5. UTILISATION DE MATÉRIAUX INNOVANTS :

Pour l'utilisation de matériaux innovants comme l'acier inoxydable, le béton avec poudre de verre, le béton fibré ultra haute performance (BFUHP), veuillez prévoir, dès l'avant-projet, une discussion avec la DGSA (section ponts et tunnels) et la DEST.

5.1 BÉTON FIBRÉ ULTRA HAUTE PERFORMANCE (BFUHP)

Au Canada, le BFUHP ou BUHP est défini comme un matériau composite cimentaire offrant une résistance, une durabilité et une ductilité supérieures par rapport aux bétons à haute performance

Les bétons à ultra haute performance (BUHP) sont susceptibles de contenir des fibres améliorant la ductilité après l'apparition de fissures, offrent une résistance à la compression spécifiée d'au moins 120 MPa à 28 jours et sont formulés en utilisant un mélange de granulats fins et d'ajouts cimentaires. L'annexe U de la norme CSA A23.1 donne des informations nécessaires pour l'utilisation de ce matériau

Il est important de valider la compétitivité en termes d'approvisionnement du béton fibré à ultra haute performance pour éviter de mentionner au devis spécial de structure un seul fabricant. Les exigences, les spécifications et les balises des bétons fibrés à ultra haute performance doivent être spécifiées au devis spécial de structure sous la forme d'un devis de performance. Ces exigences doivent être établies en fonction des éléments qui seront bétonnés (ex. joint entre dalles structurales, réparation sans surépaisseur n'ont pas les mêmes critères de conception du mélange

Pour certaines applications, des essais particuliers peuvent être requis comme notamment pour déterminer la résistance à la traction du béton utile dans les applications où l'élément travaille en flexion (poutre, dalle, etc.).

ANNEXE VDM1 - FORMULAIRE TYPE DE BÉTON DU PROJET

L'annexe VDM1 a été créée par la Division gestion stratégique des actifs, section Ponts et tunnels, en collaboration avec la Division d'expertise et soutien technique du SIRR.

Le document est disponible en format éditable à l'adresse :

<https://ville.montreal.qc.ca/executiontravaux/etapes/famille-9-ouvrages-dart>

TITRE DU PROJET: _____
 NUMÉRO D'APPEL D'OFFRES: _____
 NUMÉRO DE LA STRUCTURE: _____

ÉLÉMENTS: _____

TYPE DE BÉTON

Résistance à la compression (f'c): _____ MPa

- Régulier
- BIP
- Autoplaçant
- BRFB/BFUP
- Latex

LIANT

- Par défaut (Norme 3101 et CCDG)
- Binaire Ternaire Prise rapide (Rapid Set)

Taux particulier: _____

Autre: _____

ADJUVANTS, GRANULATS ET AJOUTS

- Réducteur de retrait: _____ L/m³
- Compensateur de retrait: _____ % du poids de liant
- Inhibiteur de corrosion: _____ L/m³
- Fibres: Métalliques Synthétiques Taux : _____ kg/m³
- Granulats granitiques
- Calibre des gros granulats: Par défaut (Norme 3101) Autre: _____ mm

MISE EN ŒUVRE

- Essai de convenance requis Courbe de maturité et maturomètre requis

Horaire et séquence de bétonnage

- Par défaut (CCDG)
- Bétonnage de soir ou de nuit requis par temps chaud
- Section max: Hauteur: _____ m Longueur: _____ m

Température du béton frais

- Par défaut (Norme 3101 et CCDG)
- Autre: Min: _____ °C Max: _____ °C

Décoffrage

- Par défaut (CCDG)
- Hâtif: _____ MPa

Cure

- Par défaut (CCDG)
- À l'eau (arrosage continu)
- Produit de cure

COMMENTAIRES: _____