

1. INTRODUCTION

La mise en place du béton à l'aide d'une pompe à béton dans les coffrages et les dalles est de plus en plus utilisée. Le béton peut ainsi être pompé verticalement vers le haut ou vers le bas ainsi que sur de grandes distances horizontales. Dépendamment du type de pompe à béton, de la configuration de la pompe et du taux de pompage, des pertes d'affaissement et d'air entraîné du béton sont généralement observées.

Une perte d'affaissement de ± 25 mm et une perte de l'air entraîné de ± 1 % peuvent être observées. Plusieurs facteurs de pompage peuvent contribuer aux pertes d'air et d'affaissement, c'est pourquoi certaines précautions doivent être prises pour en minimiser l'effet. La majorité des problèmes de pertes d'air élevées sont rencontrés avec des configurations de conduites se terminant par des descentes verticales où le béton peut être soumis à des pressions négatives.

2. NORMES POUR LE POMPAGE DU BÉTON

La norme CSA A23.1 article 7.5.2. « Manutention » paragraphe 7.5.2.7 mentionne :

« Il doit être démontré que la pompe à béton utilisée est capable de pomper le béton spécifié dans les longueurs de conduites spécifiées, aux débits requis pour la mise en place, sans incidence négative ou écart par rapport aux exigences relatives à la qualité et à la durabilité spécifiées du béton.

Note:

1) Certains modèles et certaines marques de pompes à béton exigent des mélanges spéciaux, c.-à-d., à plus forte teneur en ciment, à rapports de sable/pierre élevés ou à affaissement élevé. Ces ajustements ne devraient pas avoir d'effets indésirables sur la qualité et les caractéristiques de durabilité du béton.

Suite Note :

2) Le pompage pourrait avoir une incidence sur l'affaissement et le réseau de bulles d'air du béton plastique. Voir l'article 7.2.2.1 de CSA A23.2-25C au sujet de la fréquence des essais.

La norme CSA Z151-17 répond à certaines normes relatives au design, à l'entretien et à l'opération des pompes à béton.

Le CCDG du MTQ exige que les entrepreneurs utilisent à la fin de la conduite de la pompe, une section réductrice d'au moins 20% suivie d'une section en « S » formée de 2 coudes à 45 d'au moins 275 mm de longueur chacun et d'un dispositif de fermeture (figure 1).



FIGURE 1 Section S

La norme CSA A23.1 article 7.2.1 « Échantillonnage du béton » mentionne que « Lorsque le propriétaire désire évaluer la qualité du béton à un endroit autre qu'au point de déchargement du matériel de livraison, il doit spécifier dans les charges du projet où les échantillons doivent être prélevés ».

L'ASTM C172 « Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete » mentionne que l'échantillonnage du béton devrait s'effectuer au point de déchargement de la bétonnière avant qu'il soit transporté dans le moyen de transport pour le béton.

L'ACI 304.2 « Placing Concrete by Pumping Method » mentionne la grande précaution requise pour prélever de façon sécuritaire un échantillon représentatif de béton, à l'extrémité d'une pompe à béton. Il n'est pas recommandé pour la prise d'un échantillon de changer ni la configuration du mât de pompage, ni le taux de pompage, ce qui pourrait modifier grandement l'affaissement et la teneur en air du véritable béton pompé et du béton échantillonné. De plus, la chute libre du béton dans le contenant d'échantillonnage peut changer significativement les caractéristiques du béton.

3. MESURES PRÉVENTIVES

Afin de minimiser les problèmes d'affaissement et de teneur d'air, il est impératif d'avoir une excellente coordination entre l'entrepreneur général, l'entreprise de pompage et le fournisseur de béton.

Selon la norme CSA A23.1-19, la dimension nominale maximale du gros granulat doit être limitée à un tiers du plus petit diamètre interne du tuyau ou du tuyau flexible devant acheminer le béton, ou à 40 mm, selon la dimension la plus petite.

Par contre, afin de faciliter le pompage au chantier, des tuyaux de plus grands diamètres sont généralement utilisés. Par exemple :

- >Tuyau de 2" pour une dimension nominale maximale du gros granulat 10 mm.
- >Tuyau de 3" pour dimension nominale maximale du gros granulat 14 mm.
- >Tuyau de 4" pour une dimension nominale maximale du gros granulat 20 mm.
- >Tuyau de 5" pour une dimension nominale maximale du gros granulat 28 mm.

Il importe de souligner que les pressions de pompage au travers d'un tuyau flexible sont trois fois plus élevées qu'un tuyau rigide (ACI 304.2-17).

Il est fortement recommandé d'effectuer une coulée de convenance au début du projet afin de vérifier la pompabilité du mélange et les changements de caractéristiques du béton qu'une pompe et sa configuration peuvent engendrer. Par la suite, il est impératif de maintenir la même

pompe ainsi que la même configuration, les mêmes taux de pompage, les mêmes pressions de pompage pour la suite du chantier. Si les conditions de pompage changent, il devient difficile pour le fournisseur de béton d'ajuster les caractéristiques du béton en chantier pour accommoder les diverses configurations de pompage. Il est évident que le producteur n'est responsable que pour le béton livré au chantier et que l'entrepreneur est responsable de la mise en place du béton selon les règles de l'art et devient responsable des conditions de pompage occasionnant les pertes d'air et d'affaissement.

4. PRÉCAUTIONS POUR LES BÉTONS À HAUTES PERFORMANCES ET/OU AVEC AFFAISSEMENT ÉLEVÉ

Pour les bétons de plus de 45 MPa ou plus de 150 mm d'affaissement, les réseaux de bulles d'air initiaux peuvent être différents de ceux des bétons ordinaires.

Il est reconnu que pour une teneur en air semblable ou supérieure, le facteur d'espacement de ces bétons est généralement plus élevé.

Les caractéristiques du réseau de bulles d'air de ces bétons sont donc plus sensibles. Ainsi, certaines précautions doivent être prises à cet effet.

5. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DU BÉTON

Selon les normes, le prélèvement d'échantillon de béton s'effectue au point de déversement du béton par le fournisseur de béton. Selon un principe de base de l'assurance qualité, le fournisseur de béton ne peut pas être responsable d'un processus dont il n'a pas le contrôle (le pompage). La position des fournisseurs de béton est donc qu'ils ne peuvent pas être responsables de la qualité du béton au-delà de la fin de la chute de la bétonnière.

Certains maîtres d'œuvre peuvent demander que l'échantillonnage du béton pour le contrôle de qualité soit effectué à la sortie de la pompe. Il est alors de la responsabilité de l'entrepreneur général, avec son entrepreneur en pompage, de rencontrer les caractéristiques exigées pour le béton et de commander au fournisseur un béton adapté aux conditions de son chantier. Lors de cette commande, il faut tenir compte des équipements utilisés et des pertes

d'affaissement et d'air entraîné (validées lors d'un essai de convenance).

L'ABQ recommande à l'ingénieur et au propriétaire de :

a) vérifier la teneur en air du béton à la sortie de la bétonnière de façon à mesurer les caractéristiques du béton livré au chantier par le producteur de béton.

b) mesurer les caractéristiques du béton durci de la structure sur un échantillon prélevé par carottage afin de mesurer le réseau d'air du béton en place transporté et consolidé par l'entrepreneur.

Lors de la confection des éprouvettes destinées aux essais de compression, un cylindre supplémentaire peut être moulé. Ceci permettra d'effectuer une vérification ultérieure du béton livré, dans le cas où l'on détecte une non-conformité du réseau d'air entraîné du béton durci. Les spécifications du Ministère des Transports de l'Ontario abondent dans ce sens depuis 2007. Une telle pratique permet un échantillon plus représentatif du béton en place, qui tient compte non seulement des changements des caractéristiques lors du pompage, mais aussi de ceux lors de la consolidation. De plus, la sécurité des techniciens n'est pas compromise lors de l'échantillonnage à l'extrémité d'un tuyau de pompage de béton.

6. COMPRÉHENSION DES PHÉNOMÈNES EN CAUSE

Dans un béton de qualité, les caractéristiques d'un béton sont influencées par son contenu en eau et en air entraîné, c'est pourquoi il n'est pas recommandé d'ajouter de l'eau ou de l'air entraîné, au gré des besoins de la pompe à béton, sans affecter les caractéristiques du béton. Le béton doit être livré à l'entrée de la pompe selon les spécifications du projet et les instructions spécifiques de la commande. Il n'est pas recommandé de dépasser les limites supérieures du contenu en air entraîné ou d'affaissement pour compenser les pertes occasionnées par une mauvaise configuration de pompage.

Il faut comprendre que lorsque le béton est pompé, la matrice de béton fluide est soumise à une pression de la pompe et à des efforts de friction tout au long de la ligne de pompage. Par conséquent, à sa sortie, la pression est soudainement relâchée et le béton est catapulté dans le coffrage ou la dalle.

Un réseau de bulles d'air compact et homogène du béton est une caractéristique importante de durabilité du béton. Il permet la dissipation rapide des pressions causées par le gel de l'eau. La stabilité du réseau de bulles d'air est

affectée lors du pompage du béton. La mise en place du béton par pompage vertical est généralement accompagnée d'une perte d'air pouvant varier de 1 à 3 % tandis que des pertes de ± 1 % s'observent lors d'un pompage horizontal. Des pertes élevées (de 3 à 8 %) ont été observées avec des configurations de conduites de pompage se terminant par des descentes verticales sans dispositifs de restriction visant à conserver le réseau de conduites de pompage en pression positive.

Ces changements de la teneur en air sont nuisibles et peuvent faire en sorte que le réseau de bulles d'air final sera inadéquat pour assurer une résistance au gel / dégel. Trois mécanismes sont proposés pour expliquer ces pertes d'air : soit les mécanismes de dissolution, de succion, et d'impact. Voici les facteurs qui affectent ces mécanismes :

Le mécanisme de dissolution est explicable avec les efforts de friction du béton avec les parois de la ligne de pompage en fonction de la pression appliquée sur le béton. L'augmentation de la pression appliquée sur le béton, souvent occasionnée par un manque de pâte le long des parois, provoque une dissolution progressive des petites bulles d'air et donc une réduction du nombre total de bulles contenues dans le béton.



FIGURE 2 Hauteur de chute

Le mécanisme de dissolution de l'air affecte les petites bulles ($< 100 \mu\text{m}$) car celles-ci ont une surface spécifique plus grande et un volume d'air à dissoudre plus faible. Le pompage horizontal provoque une diminution du nombre total de petites bulles, tandis que le pompage vertical provoque un déplacement de la distribution vers des diamètres de bulles plus grands, en plus de la diminution du nombre total de bulles d'air.

Le mécanisme de succion est observé lorsque la configuration du système de pompage comprend une partie verticale descendante comme terminaison. Il est possible qu'il y ait alors une séparation de la masse du béton et que des pressions négatives se développent entre les différentes parties. Ce gradient de pression peut favoriser l'échappement des bulles d'air ou bien tout simplement causer leur gonflement et à la limite, les faire éclater.

Le mécanisme d'impact peut s'observer lors de changement brusque dans la configuration du système par exemple un coude à 90° ainsi que la chute du béton au bout de la ligne et ainsi provoquer une perte d'air.

HAUTEUR DE CHUTE DU BÉTON

La note 2 de l'article 7.5.3.3 de la norme CSA A23.1 spécifie que le béton à air entraîné perd de l'air lorsqu'il subit des chutes importantes. Le mécanisme d'impact s'observe lorsque le béton doit franchir une certaine distance à la sortie de la ligne de pompage avant d'atteindre le fond du coffrage ou le béton déjà en place. Cette distance varie selon les conditions de mise en place et peut aller de quelques centimètres à quelques mètres. La hauteur de chute doit donc être minimisée en tout temps la même pompe ainsi que la même configuration, les mêmes taux de pompage, les mêmes pressions de pompage pour la suite du chantier. Si les conditions de pompage changent, il devient difficile pour le fournisseur de béton d'ajuster les caractéristiques du béton en chantier pour accommoder les diverses configurations de pompage. Il est évident que le producteur n'est responsable que pour le béton livré au chantier et que l'entrepreneur est responsable de la mise en place du béton selon les règles de l'art et devient responsable des conditions de pompage occasionnant les pertes d'air et d'affaissement.

FORMULATION DES MÉLANGES DE BÉTONS POMPÉS

Il est impératif que l'entrepreneur avise le producteur de béton lorsqu'il prévoit pomper le béton afin que le béton livré au chantier soit une formulation adaptée. L'affaissement au chantier est augmenté à l'aide d'un superplastifiant, par contre l'augmentation du contenu

en air entraîné n'est pas souhaitable en chantier. De plus, il n'est pas recommandé de produire un béton avec un contenu en air entraîné supérieur aux spécifications.

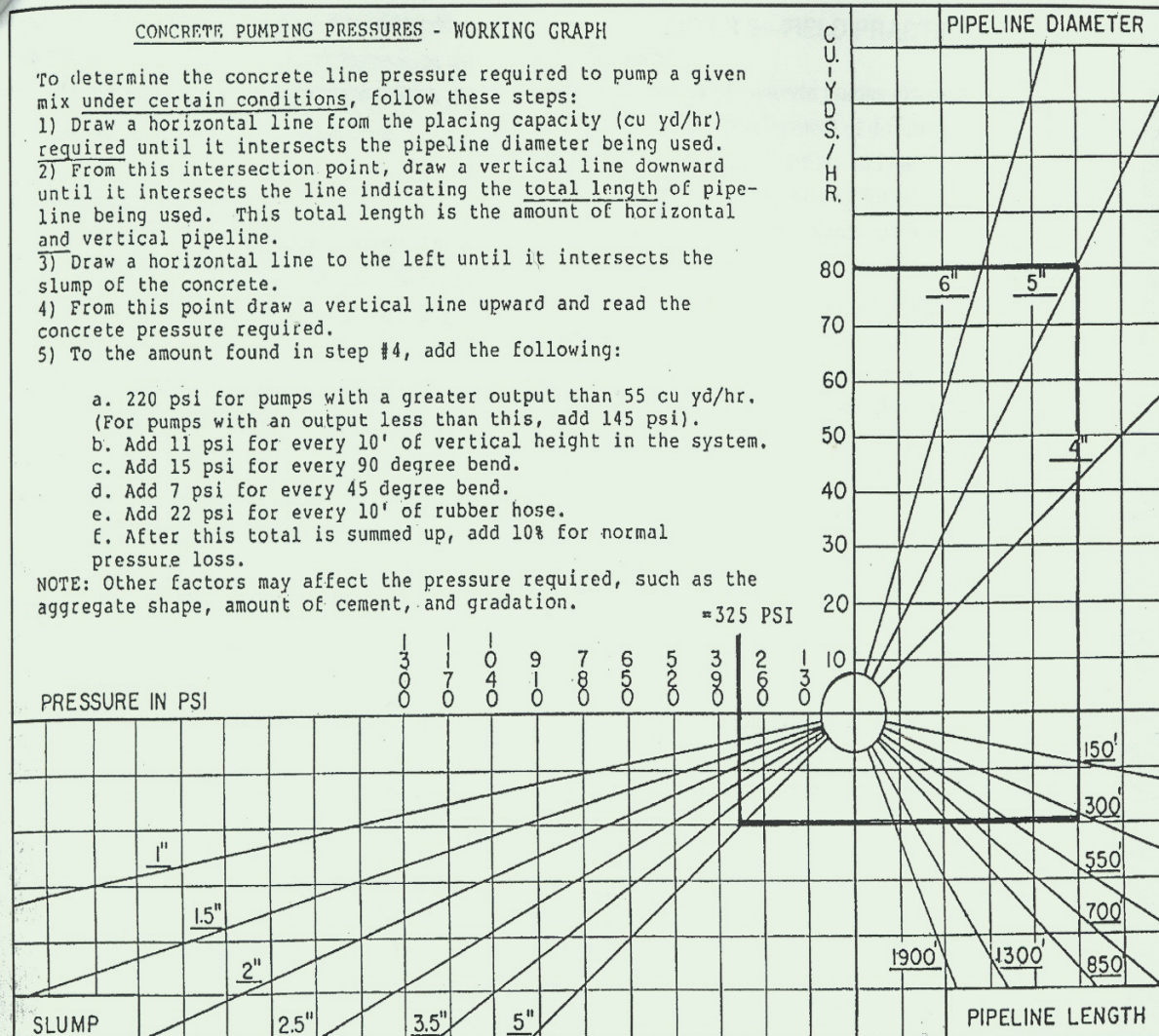


Fig. 13—Pressure volume chart (courtesy Morgen Manufacturing Co., Yankton, SD)

5. RECOMMANDATIONS

- > Utiliser des conduites adaptées aux diamètres des granulats et minimiser les longueurs de tuyaux flexibles.
- > Maintenir la pression de pompage la plus basse possible.
- > Effectuer le pompage à un débit constant afin d'éviter les variations de pression.
- > Minimiser les angles (boucle, réduit, coude à 90°) et la longueur du réseau de conduites.
- > Configurer la pompe à béton de façon à éviter les descentes verticales du béton, il faut plutôt utiliser la conduite du mât à l'horizontale ou à 45 °. Éviter les configurations en forme de grands «U» renversés.
- > Pour les coulées de dalles, une longueur de 2,5 à 5 mètres de tuyau flexible maintenue à l'horizontale entre la fin de la ligne rigide et le point de déchargement du béton peut contribuer à maintenir le réseau de pompage plein. Par contre, il faut prévoir de la main-d'œuvre supplémentaire pour manipuler ces sections de conduites.
- > Utiliser à la fin de la conduite de la pompe, une section réductrice d'au moins 20 % suivie d'une section en « S » formée de 2 coudes à 45 ° d'au moins 275 mm de longueur chacun et d'un dispositif de fermeture. Dans les cas des bétons spéciaux, comme les BAP et BHP, une section réductrice d'au moins 33% est plutôt recommandée pour assurer une meilleure stabilité du réseau d'air.
- > Le dispositif de fermeture devrait idéalement se retrouver à la toute fin de la ligne de pompage. Dans le cas contraire, lors de l'arrêt de la pompe, le volume de béton entre la fin de la ligne et le dispositif de fermeture se retrouvera dans l'ouvrage.

(suite)

- > Avant la première coulée de béton, prévoir une localisation alternative pour la pompe afin d'éliminer les sections de conduites en descente verticale, souvent la cause des fortes pertes d'air entraîné du béton au travers la pompe.
- > Spécifier, lors de la commande de béton, que celui-ci sera pompé. À cet effet, un aide-mémoire pour le pompage du béton à remplir lors de la rencontre pré-bétonnage, est disponible dans le site de l'ABQ (www.betonabq.org).
- > Si des pertes d'air avec la pompe surviennent, ne pas solutionner le problème en ajoutant de l'air entraîné au chantier au-dessus des limites spécifiées par le fabricant, modifier plutôt le circuit de pompage afin de minimiser les pertes d'air, modifier le taux de pompage, minimiser l'affaissement du béton. Un ajout d'air au chantier au-dessus des limites spécifiées engendre souvent une baisse de la résistance à la compression. (2 à 5 MPa pour chaque % d'air ajouté)
- > Échantillonner le béton selon les règles de l'art :
 - > lorsque la ligne est pleine et lorsque le débit est continu ;
 - > en limitant la hauteur de chute ;
 - > après que 10 % du volume de béton soit pompé avant d'échantillonner.
- > Les bétons de 15 MPa et les remblais sans retrait ne sont généralement pas pompables, plus particulièrement le remblai sans retrait.

6. RÉFÉRENCES

- 6.1 BNQ. *BNQ 2621-905/ 2018 Béton prêt à l'emploi - Programme de certification (élaboré à partir de certaines exigences de la norme CSA A23.1/23.2)*, Bureau de normalisation du Québec, Québec, 77 p. (BNQ 2621-905/2018)
- 6.2 CSA. *Béton : Constituants et exécution des travaux/Procédures d'essai et pratiques normalisées pour le béton*. Canada. Association canadienne de normalisation, 2019, 938 p. (CSA A23.1-F19/A23.2-F19).
- 6.3 ACI. *Guide to Placing Concrete by Pumping Methods*, États-Unis. American Concrete Institute, 2017. 20 p. (304.2R-17).
- 6.4 Daniel Boulet. *Influence du pompage sur les caractéristiques du réseau de bulles d'air du béton*. Mémoire de maîtrise ès sciences. Université Laval, Québec, Canada, décembre 1997. 172 p.
- 6.5 Julien Hope. *Air loss in free-falling Concrete*. Concrete International, June 1992.
- 6.6 Russel Gorsha. *Air loss in free-falling Concrete*. Concrete International, August 1992.
- 6.7 James Yingling; G.M. Mullings and R.D. Gaynor. *Loss of Air Content in Pumped Concrete*. Concrete International, October 1992.
- 6.8 National Ready Mixed Concrete Association (NRM-CA). *What, Why & How? Loss of air Content in Pumped Concrete*.
- 6.9 Alberta Ready Mixed Concrete Association (ARM-CA). *Concrete tech-tip # 21 «Loss of air Content in Pumped Concrete»*.
- 6.10 American Society of Concrete Contractors (ASCC). *Position Statement # 20 « Testing Fresh Concrete at Point of Delivery »*.



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
Télec. : (450) 650-0935
Courriel : info@betonabq.org

Pour plus d'information : betonabq.org