

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Chlorure de calcium dans le béton Ramachandran, V. S.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001090>

Digeste de la construction au Canada, 1975-12

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=8e42b532-6c19-4956-9f65-a9ecd701dbd0>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=8e42b532-6c19-4956-9f65-a9ecd701dbd0>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 165F

Chlorure de calcium dans le béton

Publié à l'origine en décembre 1975

V.S. Ramachandran

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

L'incorporation au béton de faibles quantités de certains produits afin de lui donner des propriétés recherchées est un procédé aussi ancien que l'utilisation du ciment. Les Romains ajoutaient du sang, de la graisse de porc et du lait aux ciments de pouzzolane, pour améliorer leur ouvrabilité et leur durabilité. Il existe aujourd'hui plusieurs centaines de produits chimiques qui sont censés avoir une ou plusieurs propriétés avantageuses et qui peuvent être incorporés au béton. On désigne ces produits sous le nom d'adjuvants, et on les ajoute à l'eau, au granulats et au ciment hydraulique immédiatement avant ou pendant le malaxage (Digest de la construction **103F**). La plupart des adjuvants sont connus d'après leur usage; on a par exemple les réducteurs d'eau, les retardateurs de prise, les agents accélérateurs-réducteurs d'eau, les accélérateurs et les hydrofuges.

Un accélérateur, comme le terme le suggère, accroît la vitesse de développement de certaines propriétés caractéristiques des ciments et bétons, mais il n'accélère pas nécessairement le développement de chacune d'elles. Du point de vue chimique, l'accélération peut être l'accroissement global de la vitesse de réaction; du point de vue physique, l'accroissement de la vitesse de prise; et du point de vue mécanique, l'accroissement de la vitesse de développement de la résistance mécanique. En pratique, cela signifie une réduction du temps de cure et de la durée pendant laquelle le béton doit être protégé du froid, et que la finition doit être entreprise plus tôt et que le bâtiment pourra être ouvert plus tôt au public.

On connaît plusieurs produits chimiques qui servent d'accélérateurs de prise du béton: le formiate de calcium, le chlorure d'aluminium, le carbonate de potassium, le chlorure de sodium et le chlorure de calcium (entre autres). Cependant, le chlorure de calcium est celui dont l'usage est le plus répandu. Sa popularité est due au fait qu'on peut se le procurer facilement, que son coût est peu élevé, que son comportement caractéristique est prévisible et qu'on l'a employé avec succès pendant plusieurs décennies.

Le béton doit répondre à de nombreuses exigences de comportement. L'addition de chlorure de calcium améliore certaines caractéristiques recherchées des bétons mais peut avoir une action défavorable sur d'autres. Mais on ne peut prévoir avec assez de précision le comportement d'un

béton contenant un adjuvant au chlorure de calcium que si les effets à long et à court terme ont été déterminés. Lorsque ces effets sont connus on peut alors employer les adjuvants de façon appropriée. Autrefois, les adjuvants étaient le domaine des spécialistes, mais avec le progrès de la technologie du bâtiment et les nouvelles exigences auxquelles doivent répondre le constructeur l'ingénieur et l'architecte, il est nécessaire que tous ceux qui s'occupent de construction connaissent aussi bien les adjuvants et leurs effets que le ciment, les granulats ou l'eau de gâchage.

Méthodes d'addition du chlorure de calcium

La quantité de chlorure de calcium à utiliser pour un ouvrage donné dépend des exigences, bien qu'il soit recommandé que la quantité de chlorure de calcium ne représente pas plus de 2 pour cent de la masse de ciment. Il convient toutefois de noter que ce pourcentage s'applique au chlorure de calcium en paillettes, qui est un hydrate contenant environ 2 molécules d'eau (2 pour cent de chlorure de calcium en paillettes équivalent à environ 1.5 pour cent de CaCl_2 anhydre).

Le chlorure de calcium se présente sous forme de boulettes, de granules ou de paillettes, ou en solution. La forme habituelle en paillettes contient un minimum de 77 pour cent de chlorure de calcium et les boulettes et autres formes granulaires un minimum de 94 pour cent. Le matériau est fourni en sacs étanches à l'humidité, dans des cylindres métalliques étanches à l'air, ou de tout autre manière appropriée et il doit être soigneusement conservé à l'abri de l'humidité. S'il se forme des grumeaux au cours du stockage il faut s'en débarrasser.

Le chlorure de calcium est soluble dans l'eau froide et dans l'eau chaude. Lorsqu'on le dissout il est préférable de mettre le sel dans l'eau, parce que si l'on verse de l'eau sur le sel il se forme une croûte dure, qui rend la dissolution lente. Lorsqu'elle vient d'être préparée, la solution est chaude et doit être refroidie avant l'utilisation.

On ne prépare pas de solutions très concentrées de chlorure de calcium pour éviter que le chlorure en excès ne se dépose au fond. Il est plus pratique de préparer une solution contenant par gallon, 4 lb de paillettes (avec un minimum de 77 pour cent de chlorure de calcium) ou $3\frac{1}{4}$ lb de boulettes ou de paillettes concentrées ou d'autres formes granulées (contenant au minimum 94 pour cent de chlorure de calcium). Ensuite, une méthode pratique, mais pas exacte, consiste à ajouter 1 pinte de solution titrée par sac de ciment lorsqu'on spécifie une concentration de 1 pour cent de chlorure de calcium ou 2 pintes par sac lorsqu'on spécifie une concentration de 2 pour cent de chlorure de calcium. La solution est considérée comme une partie de l'eau de gâchage du béton. Par exemple, pour un mélange préparé avec 5 sacs par verge cube et exigeant 2 pour cent de chlorure de calcium et 150 gallons d'eau de gâchage, la solution de chlorure représenterait 12.5 gallons et l'eau 137.5 gallons.

La solution de chlorure de calcium peut être ajoutée à la main, mais il est préférable d'utiliser un distributeur automatique. La solution ne devrait pas être mise directement en contact avec le ciment parce qu'il pourrait y avoir prise instantanée. On l'ajoute habituellement à l'eau de gâchage ou aux granules. Lorsque la solution de chlorure de calcium est fournie directement par le fabricant, on peut évaluer sa concentration en mesurant sa densité à l'aide d'un hydromètre.

Effets de chlorure de calcium sur les propriétés physiques du béton

Le chlorure de calcium réduit considérablement le temps initial et le temps final de prise de béton. Ceci est particulièrement utile pour les opérations de bétonnage exécutées pendant des températures basses ou tempérées, parce que l'on peut entreprendre plus rapidement la finition et poser des dalles plus tôt. Des quantités excessives (par exemple, 4 pour cent) provoquent une prise très rapide et devraient être évitées. Même de faibles quantités ne devraient pas être employées par temps chaud parce que la prise peut se produire si rapidement que la mise en oeuvre et la finition peuvent devenir très difficiles; la résistance mécanique peut aussi être réduite. Les normes ACNOR A266.2-1973 et ASTM C494-1971 exigent toutes deux que le début de prise ait lieu au moins 1 h plus tôt lorsque le béton

contient du chlorure de calcium (mais avec au plus 3 h d'avance d'après la norme ACNOR ou 3½ h d'avance d'après la norme ASTM) que pour le béton non traité. La norme ASTM spécifie aussi que la fin de prise doit avoir lieu au moins 1 h plus tôt pour le béton contenant du chlorure de calcium. L'influence de différentes quantités de chlorure de calcium sur le début et la fin de prise d'une pâte de ciment homogène est indiquée à la figure 1.

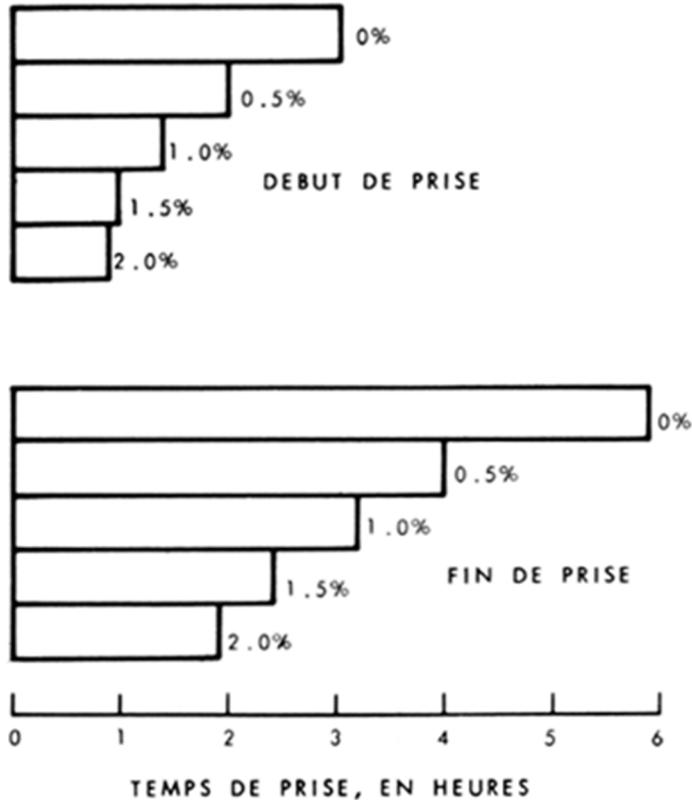


Figure 1. Temps initial et final de prise d'une pâte de ciment contenant diverses quantités de chlorure de calcium.

Le chlorure de calcium ne réduit pas de façon importante la quantité d'eau requise pour provoquer un affaissement donné et par conséquent n'a probablement pas d'effet sensible sur le renforcement du béton. Comme le chlorure de calcium est un accélérateur, il peut avoir tendance à provoquer un début rapide de durcissement et par conséquent à réduire le ressuage.

Le chlorure de calcium ne produit pas par lui-même un entraînement d'air dans le béton. Toutefois, lorsqu'on l'utilise en combinaison avec des entraîneurs d'air, il faut généralement une quantité moindre d'entraîneur pour obtenir une teneur donnée en air. Comme le chlorure de calcium risque d'être incompatible avec certains entraîneurs d'air, des essais préalables devraient être effectués. S'il y a des problèmes d'incompatibilité les adjuvants devraient être ajoutés séparément.

Dans de nombreux cas, le dépôt blanchâtre qui se forme sur le béton après la cure est fréquemment attribué à la présence de chlorure de calcium. Toutefois, dans les conditions habituelles d'exposition, il attire l'eau (c'est-à-dire qu'il est déliquescent) et il n'a pas tendance à provoquer des efflorescences comme c'est le cas avec les autres sels. De plus, une partie du chlorure que l'on a ajouté au béton s'associe étroitement aux phases hydratées du béton et se dissout difficilement dans l'eau. Lorsqu'une efflorescence se produit elle peut être supprimée avec un traitement à l'acide sulfurique dilué, suivi d'un rinçage à l'eau.

Le béton contenant du chlorure de calcium durcit vite et devient rapidement résistant aux effets du gel et du dégel. Ceci peut être très important si le bétonnage est effectué en hiver,

lorsque le matériau peut être soumis à l'action de sels de dégivrage. En vieillissant le béton contenant du chlorure de calcium peut devenir moins résistant aux attaques du gel.

Les variations de volume qui ont lieu dans le béton contenant du chlorure de calcium dans diverses conditions de cure et de séchage et à des degrés d'hydratation comparables ne sont pas bien connues. On sait que dans la plupart des cas le chlorure de calcium accroît le retrait dû au séchage, l'importance de ce retrait étant fonction de la quantité de chlorure de calcium incorporée au béton, du type de ciment, de la durée de la cure et des conditions ambiantes. Certains travaux ont indiqué qu'il est possible de réduire le retrait par l'addition de sulfate de sodium. Dans les normes ACNOR et ASTM le retrait maximal autorisé pour du béton contenant des adjuvants chimiques, y compris du chlorure de calcium, dépasse de 135 pour cent celui du matériau de référence (lorsque le retrait de l'échantillon témoin est d'au moins 0.03 pour cent). Cette exigence est satisfaite avec le dosage usuel recommandé.

Influence du chlorure de calcium sur le comportement mécanique du béton

L'addition de chlorure de calcium provoque un durcissement accéléré de tout béton contenant un type quelconque de ciment portland. C'est pourquoi l'emploi du chlorure de calcium est très répandu. Le taux maximal de durcissement est atteint en 1 à 3 jours de cure, selon les conditions de cure, la proportion eau/ciment, le type de ciment, la quantité d'adjuvant, etc. Par comparaison avec un béton de référence (sans chlorure de calcium), l'accroissement de résistance mécanique peut varier entre 30 et 100 pour cent les trois premiers jours, et cette valeur diminue ultérieurement avec la durée de cure. Les normes tiennent compte de ce fait. Par exemple, la norme ASTM C-494 exige un accroissement d'au moins 125 pour cent par rapport au béton témoin au bout de 3 jours, mais au bout de 6 mois à 1 an l'exigence n'est plus que de 90 pour cent par rapport à l'échantillon témoin. Les quantités de chlorure de calcium en excès des quantités tolérées par les normes provoquent un abaissement de la résistance mécanique. Pour une même concentration de chlorure de calcium les accroissements de résistance mécanique sont plus importants pour les mélanges riches. L'effet du chlorure de calcium sur le taux d'accroissement de la résistance mécanique est particulièrement important aux températures basses (figure 2).

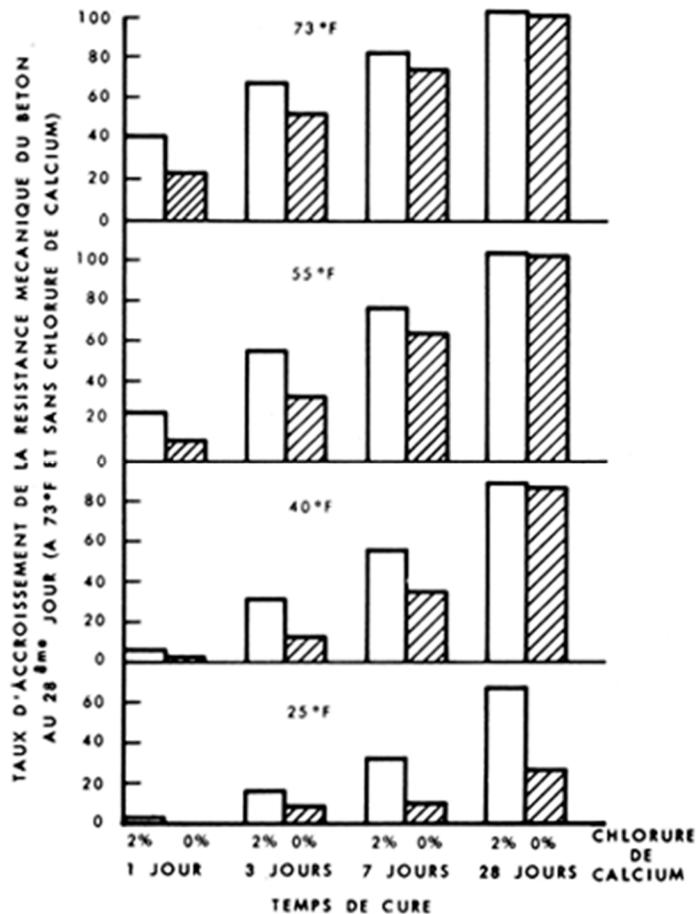


Figure 2. Influence du chlorure de calcium sur le développement de la résistance mécanique du béton à diverses températures. (D'après les résultats publiés dans le Journal, Amer. Concrete Inst., Vol. 52, June 1956 p. 1043)

La résistance à la flexion n'augmente pas autant que la résistance à la compression lorsqu'on ajoute du CaCl_2 . La norme ASTM C-494 exige que la résistance à la flexion au bout de trois jours soit au moins égale à 110 pour cent de celle de l'échantillon témoin, mais l'exigence correspondante est de 125 pour cent pour la résistance à la compression. Après de longues périodes de cure, la résistance à la flexion du béton contenant du chlorure de calcium peut même être inférieure à celle de l'échantillon témoin.

Le retrait et le fluage des pâtes de ciment semblent être des phénomènes liés entre eux. Comme le chlorure de calcium a tendance à accroître le retrait du béton, il semble possible qu'il accroisse aussi son fluage.

Effets chimiques sur le béton

Lorsque le béton est exposé à des solutions sulfatées, il peut se dégrader; les sulfates réagissent avec les ions calcium et aluminium de la pâte de ciment pour former des hydrates de sulfate de calcium et de sulfoaluminate de calcium, qui provoquent la rupture du béton. Lorsque le béton contient du chlorure de calcium, certains indices montrent que sa résistance aux attaques par les sulfates est diminuée. Par conséquent, l'emploi de chlorure de calcium n'est pas recommandé lorsque le béton peut être attaqué par des sulfates. Dans certains cas on peut l'employer pour un élément de maçonnerie exposé à un environnement d'eau de mer, à condition que la fonction de l'élément et l'importance de l'agression aient dicté son emploi (norme ACNOR A231-1973).

Certains types de granulats utilisés en combinaison avec des ciments contenant de fortes quantités d'alcalis peuvent provoquer le gonflement et la dégradation du béton lorsqu'ils réagissent avec ces derniers. Des expériences ont démontré que le chlorure de calcium présent dans le béton intensifie la réaction entre les alcalis et les granulats. Si la situation exige l'emploi du chlorure de calcium, la dilatation peut être contrôlée avec des ciments pauvres en alcalis, de la pouzzolane ou un granulats neutre.

Non seulement le chlorure de calcium accroît le taux d'hydratation du ciment, mais il active cette réaction d'hydratation. L'hydratation du ciment est une réaction exothermique, et parce que l'hydratation est activée par le chlorure de calcium, il se dégage davantage de chaleur au début, en particulier pendant les 10 à 12 premières heures. La chaleur totale dégagée ne varie pas beaucoup, mais l'importance du dégagement au début peut être intéressante pour le bétonnage en hiver.

Dans le béton armé bien composé la corrosion de l'acier se produit rarement parce qu'une pellicule d'oxyde se forme sur l'acier en milieu alcalin et rend l'acier inerte. Cette pellicule est stable aussi longtemps que le pH est maintenu à un certain niveau minimal. Lorsque le béton contient du chlorure de calcium, cette pellicule stable ne se conserve pas aussi efficacement, il y a donc un risque de corrosion. C'est pourquoi il faut prendre des précautions lorsqu'on incorpore du chlorure de calcium à du béton armé. Il faut que le béton ait un revêtement adéquat et qu'il soit bien consolidé.

Dans certains pays l'emploi de chlorure de calcium n'est pas recommandé pour le béton armé. Le danger de corrosion est considérablement accru lorsqu'il s'agit de bétons précontraints, parce que la surface totale des câbles est grande et que les différences de contraintes sont plus prononcées. Par conséquent il faut proscrire l'emploi de chlorure de calcium avec les bétons précontraints. L'emploi de chlorure de calcium n'est pas interdit pour les bétons précontraints par post-tension, dans lesquels les câbles sont placés dans des conduits; toutefois, il faut éviter l'emploi de chlorure de calcium avec du coulis. Il ne faut pas non plus l'employer avec des bétons dans lesquels divers métaux sont combinés ou dans lesquels peuvent exister des courants électriques parasites. Il vaut mieux ne pas utiliser de chlorure de calcium avec les bétons dont la cure est effectuée à la vapeur, sauf si l'on peut démontrer que dans un cas particulier il n'y aura pas de corrosion.

On pense généralement que les effets nocifs du chlorure de calcium sur le béton armé sont dus à la présence de tout le chlorure qui a été initialement incorporé au béton au cours du malaxage. Des expériences ont prouvé, cependant, que seule une partie du chlorure de calcium réagit avec les composants du ciment et que c'est un adjuvant peu soluble — c'est pourquoi ses effets corrosifs ne sont pas aussi prononcés qu'on pourrait s'y attendre.

Conclusion

On a décrit dans le présent digest le rôle du chlorure de calcium dans le béton, ses effets nocifs et ses effets bénéfiques, et dans quels cas il fallait l'employer avec prudence. Il est tout à fait possible qu'à l'avenir certaines modifications permettent son emploi sans restrictions. Le considérer comme un antigel est une erreur. Son effet sur la congélation est négligeable en raison des faibles quantités de chlorure de calcium utilisées avec le béton; même si le temps pendant lequel le béton doit être protégé est réduit, les méthodes courantes de protection doivent être observées pour le bétonnage par temps froid.

On aurait tort de considérer le chlorure de calcium comme une panacée à tous les problèmes des bétons, tout comme de s'en méfier exagérément. Ce produit peut améliorer les caractéristiques d'un béton bien fait, mais ne peut améliorer un béton mal fait. Il ne peut remplacer une bonne technique, une bonne composition ou des matériaux de bonne qualité. Son emploi doit être déterminé en fonction d'une situation particulière. Sinon, il faudra recourir à d'autres méthodes telles que l'emploi de ciment du type III, d'une quantité plus grande de ciment, de ciment plus fin ou l'application d'une méthode de cure ou de protection différente ou encore plusieurs de ces possibilités à la fois.

Bien que le mécanisme par lequel le chlorure de calcium agit sur le ciment ait été étudié en détail, on ne le connaît pas encore très bien. Les théories sont en général basées sur les effets chimiques, la morphologie, la porosité, la solubilité et la surface, ou d'autres facteurs, mais il est probable que son action est due à la combinaison de ces effets.

Des recherches sont toujours en cours en vue de trouver un produit capable de remplacer le chlorure de calcium et n'en possédant pas les limitations. Les expériences réalisées avec plusieurs sels minéraux ont démontré, toutefois, que le chlorure de calcium est toujours l'accélérateur le plus pratique pour le béton.