

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Les ciments Portland dans la construction des bâtiments Swenson, E. G.

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/10.4224/40000906>

Digeste de la construction au Canada, 1972-09

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=8c3d42a1-6df7-4d32-921f-270a1527f900>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=8c3d42a1-6df7-4d32-921f-270a1527f900>

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 145F

Les ciments portland dans la construction des bâtiments

Publié à l'origine en septembre 1972

E. G. Swenson

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.

La cuisson de la pierre ou de l'argile en vue de produire des matériaux destinés à cimenter les matériaux de construction est aussi ancienne que l'histoire connue de l'humanité. On utilise encore les matériaux anciens de liaison tels que la chaux, la chaux hydraulique, le gypse et certains rocs volcaniques (pouzzolanes). Ils sont cependant aujourd'hui éclipsés par le ciment Portland qui est apparenté à la chaux hydraulique dont il constitue un perfectionnement considérable.

Le béton à base de ciment Portland est, de beaucoup, le matériau de construction le plus largement utilisé (**CBD 15F**). Son applicabilité à des usages multiples a été grandement augmentée du fait de la mise au point de nombreuses modifications. Le béton qu'on utilise au Canada se présente en général sous la forme d'un produit prêt à l'emploi; les quatre derniers stades, d'ailleurs très importants, de la fabrication (mise en place, compactation, finition et séchage), n'en sont pas moins nécessaires. L'exécution convenable de ces opérations en vue d'obtenir à la fin du traitement certaines propriétés exige des connaissances techniques spécifiques relatives au comportement des ingrédients: ciment, agrégat, eau et adjuvants. Le présent Digest porte sur la nature et l'emploi de divers types de ciment Portland étudiés en relation avec les conditions et pratiques canadiennes.

Fabrication du Ciment Portland

On peut trouver presque partout les matières brutes nécessaires pour réaliser un ciment Portland de composition correcte et de haute qualité. Ce point est important au Canada où les centres résidentiels et industriels sont séparés par de grandes distances. Les agrégats destinés au béton pouvant être trouvés dans la plupart des régions, le ciment et le béton constituent essentiellement des matériaux "régionaux" disponibles à prix relativement bas.

Les sources de matériaux bruts destinés à la fabrication du ciment Portland doivent pouvoir fournir les deux principaux composants, calcaire (CaO) et silice (SiO₂), et deux composants secondaires, alumine (Al₂O₃) et oxyde de fer (Fe₂O₃). Le calcaire provient ordinairement de la pierre à chaux, mais on peut également l'obtenir du corail, de la craie et de la marne. La silice

provient du sable ou de schistes, l'alumine de sables, schistes et bauxites, et l'oxyde de fer de l'un quelconque de ces matériaux suivant leur composition, ainsi que de sous-produits d'autres industries. Comme il est économique d'utiliser les matériaux disponibles, on y rencontre inévitablement des composés non nécessaires ou indésirables. Ils sont mieux connus sous le nom de composants mineurs; ce sont la magnésie (MgO), les alcalis (Na_2 et K_2O), et les oligo-éléments, tels que phosphore, titane et manganèse.

On analyse et on proportionne séparément des matériaux bruts appropriés de manière obtenir des scories de ciment qui présenteront la composition désirée lorsqu'on les cuira au four. Cette composition - la même dans le monde entier - est déterminée par la considération des propriétés de cuisson et de cimentation optimales, de solidité, et de qualité parfaitement saine. Après mélange en proportions convenables, les matériaux bruts sont écrasés dans des broyeurs à boulets; on analyse le mélange brut résultant et on le mélange intimement soit en présence d'humidité, soit à sec, avant cuisson au four. La cuisson est d'une grande importance parce que les recombinaisons chimiques qui se produisent à l'état de demi-fusion doivent être complètes, faute de quoi le ciment ne serait pas sain. Dans ce processus de cuisson, l'alumine et l'oxyde de fer agissent comme fondants et améliorent la qualité de la combinaison chimique.

Les scories produites sont broyées avec du gypse (ce dernier est ajouté pour régulariser les propriétés de prise) de manière à obtenir le ciment Portland. Le broyage constitue, avec le processus de cuisson, l'un des plus importants éléments du coût de fabrication. On utilise par suite très fréquemment des adjuvants du broyage qui permettent de réduire les frais et d'améliorer le degré de finesse.

Le ciment Portland finalement obtenu est anhydre. Pour qu'il conserve son pouvoir de liaison, on doit le protéger contre l'humidité et le gaz carbonique (bioxyde de carbone). Aussi le ciment doit-il être emballé en sacs étanches à l'humidité et hermétiquement scellés.

Nature et Hydratation du Ciment Portland

Les composés principaux formés dans les scories de ciment Portland et qui confèrent les propriétés de liaisonnement et de résistance, sont les silicates de calcium, $3CaO.SiO_2$ et $2CaO.SiO_2$. Lorsqu'on les mélange avec l'eau, ces composés anhydres s'hydratent, se prennent, et durcissent lentement en suivant le comportement bien connu du ciment Portland. L'aluminate tricalcique $3CaO.Al_2O_3$, qui se trouve dans les scories, forme aussi un hydrate avec l'eau; bien qu'il contribue aux propriétés de prise et de durcissement hâtif, il possède des propriétés indésirables que nous étudierons ultérieurement.

Incorporé à un coulis ciment-eau, le sable produit du mortier; la présence simultanée de sable et de pierre donne du béton. Ces agrégats réduisent naturellement le coût du matériau final de construction; ils sont, en outre, nécessaires pour réduire la proportion de pâte pure de ciment qui présente des caractéristiques élevées de contraction.

L'eau est un réactif indispensable à la production des hydrates de cimentation et à une maturation convenable (gain de résistance) du ciment; il est donc d'importance capitale d'assurer la présence d'un environnement à humidité maximale pendant aussi longtemps qu'il est pratiquement possible de le faire et au moins pendant 6 jours. Dans le cas où des périodes de sécheresse interviennent au cours des premiers stades du processus d'hydratation, la réaction subit un retard sérieux, et une humidification ultérieure ne suffit pas à compenser complètement la perte prématurée de résistance. Le curage du béton joue donc un rôle extrêmement important dans l'obtention d'un béton de bonne qualité. La proportion minimale eau-ciment compatible avec la possibilité de travailler le produit est indispensable à l'obtention de la résistance et de la durabilité maximales. Un excès d'eau produit des vides qui réduisent la densité et par suite la résistance de la pâte de ciment.

Comme le cas se présente pour la plupart des réactions chimiques, le taux d'hydratation, et par suite le gain de résistance, augmentent en même temps que la température. On utilise souvent, spécialement par temps très chaud, un adjuvant retardateur pour modifier la durée de prise. Les adjuvants accélérateurs non seulement affectent la durée de prise du béton, mais

aussi servent principalement à augmenter la vitesse de gain de résistance en accroissant la vitesse d'hydratation.

Il est tantôt possible, tantôt impossible, d'empêcher aisément la production de certaines difficultés qui se présentent dans le cas du ciment Portland. La fausse prise consiste dans un durcissement hâtif qu'on peut vaincre au moyen d'un malaxage ultérieur. Elle ne constitue donc pas un problème difficile dans le cas du ciment préparé à l'avance. L'agitation prolongée maintenue pendant le transport garantit en effet l'obtention sur chantier d'un ciment maniable. Le problème peut, par contre, devenir sérieux si le béton est mélangé sur le chantier. On peut ordinairement empêcher les fausses prises en utilisant en usine des formules et des procédés divers. Le phénomène de prise en bloc dans lequel la poudre sèche de ciment se solidifie dans les silos et les coffres et devient dure et difficile à décharger, peut être évité en utilisant certains produits d'addition lors du broyage des scories.

Types de Ciment Portland

Les techniques d'étude et de construction gagnent chaque jour en complication; on porte, d'autre part, une attention accrue aux variations qui se présentent dans les conditions régionales et les conditions de travail. Aussi demande-t-on d'apporter des modifications à certaines propriétés du béton. Différents "types" de ciments Portland ont ainsi été mis au point et on utilise davantage, d'autre part, les adjuvants du béton (le dernier en date est décrit dans **CBD 103F**). Ces diverses variantes sont largement utilisées par les industries du béton précontraint ou prêt à l'emploi.

La production d'un type différent de ciment Portland implique certains réajustements des procédés de fabrication; tel est le cas en particulier pour la sélection des matériaux bruts, les proportions des produits chimiques, les adjuvants spéciaux et le degré de broyage. L'accroissement inévitable du prix de revient de ces ciments Portland modifiés, par rapport à celui du produit normal, est dû en partie aux réajustements des fabrications mentionnés plus haut, et en partie à des complications de manutention et d'emmagasiner en usine.

Portland Normal

C'est le produit standard qui satisfait à la plupart des exigences couramment énoncées pour le béton. Il est le moins cher et, par suite, le plus largement utilisé. Sa composition et ses propriétés sont déterminées par des normes minimales de qualité telles que CSA A5. Au-delà de ces minima, les ciments Portland normaux peuvent varier considérablement d'une usine à l'autre et cependant satisfaire encore à ces spécifications. Il se peut que, dans une usine donnée, des changements de propriétés se produisent. Ils sont quelquefois dûs à des changements saisonniers, quelquefois à des changements de matières premières extraites de carrières; quelquefois encore de légers changements interviennent dans la cuisson.

Résistance élevée hâtive et ciments pour produits précontraints

Comme leur nom l'indique, les ciments Portland à résistance élevée hâtive acquièrent après un, trois et sept jours, une résistance beaucoup plus élevée que le ciment Portland normal. A 28 jours, ou plus tard, on n'observe ordinairement que peu de différence. La situation dépend des modifications apportées à la fabrication du ciment. On utilise fréquemment le ciment à résistance élevée hâtive dans des cas spéciaux tels qu'enlèvement rapide des coffrages, application prématurée de charges, processus spéciaux de précontrainte, et curage rapide en vue d'aider à la résistance du béton au gel (à ce sujet voir **CBD 116F**).

Pour obtenir une résistance élevée et hâtive du ciment, on utilise aujourd'hui principalement un broyage extrêmement fin du mélange scorie-gypse. Il est fréquent qu'on traite les mêmes scories que dans le cas du Portland normal. Dans quelques cas, cependant, il convient non seulement d'obtenir un broyage fin, mais aussi de modifier la composition chimique en ajoutant des composés de silicate tricalcique et d'aluminate tricalcique qui s'hydratent plus rapidement. Dans les deux cas le prix de revient est supérieur à celui du Portland normal.

Lorsqu'on broie les scories de manière à obtenir une finesse située entre celle du Portland normal et celle du ciment à résistance hâtive élevée, on obtient un produit de prix et de résistance hâtive intermédiaires. Les ciments de ce type sont connus sur le marché sous divers noms, tels que "ciment de produits du béton" et "ciment du type bloc". Dans le cas où l'on désire des ciments à prise rapide, une autre solution consiste à utiliser avec le Portland normal du chlorure de calcium qui joue le rôle d'accélérateur.

Ciments résistant aux sulfates et ciments à faible dégagement de chaleur

On examine ici simultanément les deux types de ciments Portland parce que les changements apportés à leur composition par rapport à celle du ciment Portland normal - réduction des quantités d'aluminate tricalcique - sont fondamentalement les mêmes, bien qu'on les ait mis au point dans des buts complètement différents. On trouvera dans **CBD 136F** une brève étude relative à la composition du ciment résistant aux sulfates.

La plupart des ciments Portland, y compris ceux qui sont fabriqués au Canada, présentent une teneur en aluminate tricalcique d'environ 9 à 15 pour cent. On a déjà signalé que ce composé, qui contribue à conférer au produit une résistance hâtive, peut être considéré comme désirable dans le présent contexte. Sa présence est, par contre, hautement indésirable dans les ciments résistant aux sulfates et les ciments à faible dégagement de chaleur.

Au cours des premiers stades de l'hydratation du ciment, l'aluminate tricalcique se combine rapidement avec les sulfates; il se forme ainsi des produits qui provoquent au total une dilatation de la pâte de ciment durcie. Lorsque les concentrations en sulfates sont basses (sulfates provenant du gypse existant dans le ciment Portland inclus), il ne se produit aucune dilatation notable. Si, par contre, les concentrations en sulfates sont élevées - tel est le cas pour beaucoup d'eaux superficielles et souterraines de l'ouest du Canada - les dilatations deviennent suffisamment importantes pour produire des cassures dans le ciment lorsqu'on utilise du Portland normal. On fabrique spécialement des ciments résistant aux sulfates; leur teneur en aluminate tricalcique est beaucoup plus basse; on les a utilisés avec succès pendant quelque quarante ans pour lutter contre les attaques par sulfates. Les spécifications telles que CSA A5 donnent les valeurs limites correspondant à ce type de ciment Portland. Il existe d'autres méthodes complémentaires ou préventives, parmi lesquelles figurent les recouvrements protecteurs et le drainage; on utilise également des ciments denses et imperméables.

L'hydratation de l'aluminate tricalcique contenu dans le ciment Portland engendre une quantité de chaleur considérable (réaction exothermique); dans la plupart des pièces de béton, l'augmentation correspondante de température est faible, la chaleur se dissipant rapidement par les surfaces découvertes. Elle peut être avantageuse si elle est modérée, car elle accélère l'hydratation et, lorsqu'on procède par temps froid à des travaux de bétonnage, elle maintient des températures raisonnables qui permettent l'hydratation. Dans le cas des pièces massives de béton, par contre, le rapport de la surface au volume est moindre; la dissipation de chaleur est retardée de sorte que des températures internes excessives peuvent prendre naissance. Il peut en résulter des hausses rapides de température qui engendrent des craquelures dans le béton. En vue d'éviter les difficultés, il est en général recommandé de maintenir les températures régnant à l'intérieur de la masse en dessous de 130°F. On fabrique des ciments à faible dégagement de chaleur dont les teneurs résultantes en aluminate tricalcique sont plus basses que dans le cas du Portland normal; ils sont, sous ce rapport, semblables aux ciments résistant aux sulfates. Il existe cependant d'autres facteurs relatifs à la composition ou aux caractéristiques physiques qui peuvent rendre nécessaires des ajustements de nature à éviter les pertes de résistance hâtive normalement causées par l'aluminate tricalcique. Aucune norme canadienne relative au ciment Portland à faible dégagement de chaleur n'a été mise au point; on a cependant établi des spécifications particulières à l'occasion de travaux exigeant ce type de matériaux.

Il existe aux problèmes des constructions massives en béton ou des travaux exécutés par temps très chaud, d'autres solutions que les ciments à faible dégagement de chaleur. Parmi elles figurent l'emploi de bétons pré-refroidis (ordinairement au moyen de glace intégrée à

l'eau du mélange) ou la circulation d'eau froide dans des tuyauteries incorporées dans la masse du béton. On peut utiliser, lorsqu'on peut s'en procurer, des matériaux pouzzolaniques ou des cendres volantes pour remplacer, dans les bétons massifs, une partie du ciment Portland normal.

Comme dans le cas des ciments à résistance élevée et hâtive, il existe des qualités intermédiaires de ciments résistant aux sulfates et à faibles dégagements de chaleur. Ce sont des ciments dans lesquels on réduit en usine la composante aluminat tricalcique; on lui confère des valeurs situées entre celles qui correspondent respectivement au Portland normal et au ciment résistant aux sulfates. Leur prix est moindre; on les spécifie souvent dans le cas de présence modérée de sulfates ou d'éléments en béton de masses moyennement élevées.

Ciment Portland Faiblement Alcalin

Lorsqu'on les utilise comme agrégats du béton, certains types de roches peuvent subir ce qu'on désigne sous le nom de réaction d'agrégat alcalin. Il s'agit d'une réaction intervenant entre le composé alcalin du ciment Portland (oxydes de sodium et de potassium) et certains types de minéraux ou de roches présents dans l'agrégat. A cause de l'existence dans le béton d'une solution fortement caustique, cette réaction se produit, en fait, toujours; elle engendre cependant des difficultés dans le cas où le degré de réactivité est assez élevé pour produire une dilatation excessive et des craquelures.

Les mesures préventives les plus couramment appliquées et dont l'efficacité est reconnue consistent à utiliser un ciment faiblement alcalin. On fabrique au Canada des ciments de ce type; ils sont destinés à des régions où l'on sait que des difficultés du type alcali-agrégat sont susceptibles de se produire. On connaît également plusieurs autres méthodes; les unes sont différentes des méthodes existantes, les autres complètent ces dernières. La plus importante d'entre elles consiste à concevoir les structures en béton sujettes à ce genre de réaction de manière à minimiser l'humidification. La réaction alcali-agrégat ne se produit en effet que dans le cas d'un environnement humide.

Tous les ciments Portland canadiens sont malheureusement, à une exception près, du type fortement alcalin; il est cependant possible d'y effectuer en usine, sans changer les matériaux bruts, un ou plusieurs traitements de nature à réduire les teneurs alcalines à des niveaux ne présentant pas de dangers. Une augmentation modérée du prix coûtant est inévitable en pareil cas. Les normes telles que CSA Norme A5 ne contiennent pas encore de spécifications traitant du cas des ciments faiblement alcalins.

Ciments Apparentés au Ciment Portland

Au Canada et aux Etats-Unis, le mortier de ciment de maçonnerie remplace généralement, pour les travaux de maçonnerie, les mortiers de chaux et les mortiers chaux-Portland. La plupart des ciments de maçonnerie sont fabriqués par broyage de parties sensiblement égales de scories de ciment Portland normal et de calcaire; on ajoute la petite proportion habituelle de gypse nécessaire pour régulariser la prise. On utilise au cours du broyage des matières organiques d'addition qui confèrent la maniabilité et la possibilité de travail à la truelle qu'on exige des mortiers de maçonnerie. Les mortiers fabriqués à l'aide de ces ciments de maçonnerie contiennent par suite une forte proportion d'air d'entraînement qui contribue à la durabilité en cas de gel.

Le ciment Portland blanc est fabriqué à partir de matières premières brutes spécialement sélectionnées; ses propriétés sont semblables à celles du Portland normal. On emploie ce dernier et le ciment blanc de maçonnerie pour réaliser des effets architecturaux.

On a récemment mis au point des ciments à "contraction compensée" fabriqués en usine en utilisant des composantes dont la dilatation contrebalance les propriétés de contraction au séchage du ciment Portland. On fabrique également au Canada du ciment Portland de scories. On utilise, pour fabriquer les produits de ce genre, des composés moins coûteux destinés à remplacer une partie du ciment; on bénéficie, en outre, d'une plus grande résistance à l'attaque par sulfates et d'une réduction dans la production de chaleur.

Contrôle de Qualité en Usine, Essais et Spécifications

On utilise au Canada pour les ciments Portland la norme A5 de l'Association Canadienne des Normes. Elle impose des limites de composition destinées à garantir une cuisson convenable des scories et l'obtention d'un produit sain. Il est prévu, pour les éléments constitutifs tels que l'aluminate tricalcique (C_3A), le trioxyde de soufre (principalement SO_3 , provenant du gypse d'addition) et l'oxyde de magnésium (MgO), des limites qui varient avec les types de ciments. Des limites de comportement sont également imposées aux propriétés physiques telles que durée de prise, surface spécifique, et résistance à la compression à différents âges.

Les spécifications générales de cette nature permettent de mettre au point des méthodes d'essai du ciment. Dans le cas du contrôle de qualité en usine, il est également nécessaire d'exécuter des essais à divers stades de la fabrication. Il est, par exemple, nécessaire de déterminer la composition du mélange brut et celle des scories. Bien qu'on ait mis au point des méthodes d'essai et déterminé des limites, on n'indique ordinairement pas, dans les spécifications générales, les limites relatives à certaines propriétés qui cependant intéressent souvent l'utilisateur de ciment Portland. Les fausses prises et les prises en masse appartiennent à cette catégorie. Elles se présentent en général assez rarement, mais il se peut que, lors d'achats de ciment, on exige des données d'essai portant sur des caractéristiques de cette nature.

La spécification générale contient une limitation qui présente de l'importance en ce sens qu'elle n'assure pas l'obtention de propriétés uniformes. Il existe des limites supérieures et inférieures, mais non une combinaison des deux. Il se peut, dans ces conditions, que deux ciments Portland normaux satisfassent chacun aux exigences de CSA A5, mais présentent, pour certaines propriétés, des variations considérables. Cette situation revêt une importance particulière dans le cas d'opérations continues telles qu'il s'en présente dans les usines de mélanges préparés ou de produits précolés. Il est, par exemple, difficile, en cas de fluctuations, d'obtenir une résistance uniforme des mélanges préparés pour bétons. L'utilisateur de ciment Portland peut cependant spécifier simultanément une limite supérieure et une limite inférieure concernant les propriétés qui présentent pour lui une importance particulière.

Dans une large mesure, le type de ciment Portland et ses diverses propriétés déterminent le comportement du béton aussi bien à l'état plastique qu'à l'état solidifié. Le béton in situ étant, en totalité ou en partie, fabriqué sur chantier, il est essentiel que les responsables des études et de la construction d'un bâtiment aient une bonne connaissance pratique du ciment Portland et de ses diverses modifications.