

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Le béton

Hutcheon, N. B.

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/10.4224/40000947>

Digeste de la construction au Canada, 1962-11

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=b70b5699-7a11-4262-8968-319e924a6286>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=b70b5699-7a11-4262-8968-319e924a6286>

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 15F

Le béton

Publié à l'origine en novembre 1962

N. B. Hutcheon

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'emploi généralisé du béton est la preuve irréfutable des avantages exceptionnels de ce matériau de construction. Le béton en fait nous est si familier que nous oublions parfois le processus remarquable par lequel on peut mélanger le ciment et l'eau à une grande variété d'agrégats afin d'obtenir une masse malléable pouvant être convertie, à pied d'oeuvre, en un matériau fort et durable épousant à peu près toute les formes que l'on désire. La mise au point des ciments portland modernes ayant la propriété de prendre rapidement, même sous l'eau, a commencé il y a un peu plus d'un siècle alors qu'on découvrit les matières premières nécessaires à leur fabrication ainsi que les modes appropriés de cuisson. Aujourd'hui des milliers d'hommes de science et d'ingénieurs très qualifiés travaillent sans relâche dans tous les pays du monde afin d'étudier ces matériaux pour mieux les connaître et pour les améliorer encore.

Un grand nombre de réactions chimiques et physiques ayant lieu durant la prise du béton et par la suite sont si compliquées qu'on ne les comprend pas encore tout à fait. Cela est dû en partie à la grande variété des substances chimiques qui se trouvent, soit parce qu'on l'a voulu, soit par hasard, dans tous les mélanges de béton. Des nouveautés peuvent être introduites dans les méthodes de fabrication, de manutention et de séchage. Tous les changements qui se produisent assez rapidement dans le béton fraîchement coulé continuent après la fin de la période normale de séchage. Certaines réactions peuvent se poursuivre lentement pendant longtemps tandis que certaines autres peuvent être déclenchées par des éléments de l'entourage où le béton est par la suite exposé. En dépit de toutes ces complications on fabrique et on utilise régulièrement des bétons dont les propriétés et le comportement sont prévus d'avance. La résistance des ouvrages de béton n'est pas le fait du hasard.

Heureusement il n'est pas nécessaire que les architectes, les auteurs des normes, les ingénieurs et les fournisseurs des matériaux connaissent toute la technologie du béton. Il existe toutes sortes de guides, de manuels, de codes, de normes et de spécifications publiés par des organismes comme American Society for Testing Materials, American Concrete Institute et Canadian Standards Association ou NRC (Code national du bâtiment). Cependant il est très

souhaitable, sinon essentiel, d'avoir une idée de la nature générale du béton et de ses propriétés les plus importantes. Le présent Digeste traite précisément de cette question.

Le mélange du béton

Le béton résulte de la combinaison d'une pâte de ciment (formée de ciment et d'eau) avec des agrégats. Étant donné que le ciment coûte jusqu'à 10 fois plus cher que les agrégats il est souhaitable d'avoir recours à un minimum de ciment pour cette seule raison. Dans le béton standard, qui est dense, il est nécessaire d'avoir suffisamment de pâte de ciment pour remplir les vides dans les agrégats. Pour économiser le ciment il faut donc choisir des agrégats d'une granulométrie voulue pour aboutir à un minimum de vides. Il y a cependant une autre raison pour éviter les excès de ciment. Tous les ouvrages à base de ciment sont l'objet de petits changements en volume lorsque varie la teneur en humidité. Quoique ces changements soient petits ils sont très importants du fait qu'ils peuvent être bien plus considérables que les efforts dûs aux charges normales. Les modifications dimensionnelles qui se produisent dans les pâtes de ciment peuvent être cependant dix fois plus importantes que celles qui se produisent dans les bons bétons normaux où dans les agrégats eux-mêmes. Dans un béton fabriqué à partir d'un "mélange riche" contenant plus de pâte de ciment qu'il n'est nécessaire pour remplir les vides dans l'agrégat le béton acquiert quelques-unes des caractéristiques de rétrécissement de la pâte de ciment. Des fissures excessives dues au rétrécissement se produisent souvent à la surface des dalles de béton par suite d'excès de ciment dans le mélange.

Le volume des vides dans un échantillon de tout agrégat d'une dimension assez uniforme est susceptible de représenter environ un tiers du volume brut. Le pourcentage des vides est approximativement le même, quelle que soit la dimension. La proportion habituellement employée dans les mortiers est une partie de ciment pour 3 parties de sable. Cela veut dire qu'un volume de ciment est nécessaire pour remplir les vides de 3 volumes de sable. Le même rapport s'applique grosso modo pour un agrégat à gros grains. Si, cependant, les vides d'un agrégat à gros grains sont tout d'abord remplis par un agrégat à grains fins les vides restant dans la combinaison seront réduits à un tiers d'un tiers, soit à un neuvième et le mélange qui en résultera sera 1:3:9 par volume. Ceci simplifie à l'extrême la base sur laquelle repose le dosage des mélanges de béton mais cela illustre l'importance qu'il y a à bien doser la granulométrie lorsqu'on fait du bon béton. La forme des agrégats, la graduation des dimensions des agrégats, la surface totale des agrégats et certaines considérations comme la maniabilité du béton frais peuvent nécessiter des ajustements dans la quantité de pâte de ciment requise et conduire ainsi à une modification de la proportion 1:3 indiquée ci-dessus pour un mélange formé de sable et de ciment.

La proportion de l'eau par rapport au ciment (les deux ingrédients qui forment la pâte de ciment) est d'une importance primordiale. La quantité d'eau nécessaire dans un mélange normal est toujours très supérieure à celle qui est nécessaire pour l'hydratation du ciment pour qu'il atteigne sa forme finale dans le béton. Une grande partie de l'eau supplémentaire qui est nécessaire dans les mélanges pour les rendre malléables se sera évaporée lorsque le béton atteindra sa forme finale. Mais le volume que le ciment d'hydratation doit éventuellement essayer de remplir est déterminé à l'avance par le volume de la pâte. On peut donc dire que la densité finale de la pâte de ciment une fois durcie et par conséquent quelques autres propriétés importantes comme la résistance et la porosité sont déterminées par le rapport eau-ciment employé dans le mélange original. Cela est si vrai qu'on emploie le rapport eau-ciment comme un indice de résistance dans les mélanges de béton. Plus le rapport eau-ciment est faible plus la résistance de la pâte durcie, c'est-à-dire du béton, est élevée. Cela explique pourquoi les spécialistes n'aiment pas les excès d'eau dans la fabrication des bons bétons de construction. En fait le bon béton est mis en place et jamais versé; un béton que l'on peut verser n'est pas un bon béton.

Prise et durcissement de la pâte de ciment

Le ciment portland est préparé à partir de matières premières comprenant surtout du carbonate de calcium se présentant souvent sous la forme de chaux et de silicates d'aluminium souvent obtenus sous une forme d'argile. Des marnes contenant ces deux substances sont

souvent employées. Ces matières premières sont intimement mélangées et cuites à la température convenable à la production du mâchefer. Le mâchefer qui en résulte est ensuite moulu au point de former une fine poudre. Les principaux constituants sont la chaux, l'alumine et la silice.

Les différences distinctes des propriétés du ciment portland peuvent être produites en faisant des dosages convenables dans la composition chimique. Il existe de nombreux types de ciment portland ayant des propriétés bien définies. Ces types sont décrits par des noms significatifs comme "ordinary", "rapid hardening", "quick setting", "white", low heat et "sulphate resisting" ou, comme aux Etats-Unis, au moyen de désignations spéciales comme les types I à V employées par l'ASTM.

Tous les constituants dont est formé le ciment portland sont attaqués ou décomposés lorsqu'ils sont mis en contact avec l'eau. Une variété de produits est formée dont quelques-uns temporairement seulement, ces produits pouvant être transformés durant le processus de l'hydratation. Ces nouveaux produits se forment tout d'abord au pourtour des grains de ciment et à mesure que leur développement se poursuit la pâte de ciment "prend" et par la suite "durcit". De la chaleur est produite durant ce processus.

La prise du ciment peut commencer au bout de 30 minutes, ce qui est peu, et continuer pendant plusieurs heures jusqu'au stade qu'on appelle "prise finale". Certains ciments spéciaux à prise rapide peuvent provoquer la prise finale au bout de 30 minutes. La force compressive du béton fabriqué à partir du ciment ordinaire prend plus longtemps pour se développer. Elle augmente rapidement durant une période de plusieurs jours puis lentement durant une période de plusieurs semaines et elle peut même continuer d'augmenter lentement pendant des mois. Il n'existe pas de guide simple quant à la vitesse d'obtention de la résistance définitive car cette résistance varie énormément selon le rapport eau-ciment et elle est influencée également par le type du ciment employé et par les conditions de séchage. Il est nécessaire dans la préparation d'un mélange de béton de veiller à ce que la résistance atteinte à divers moments convienne aux exigences de l'ouvrage érigé. Le moment qui convient pour l'enlèvement des coffrages et l'application des charges dépend évidemment de l'obtention d'une résistance suffisante.

Étant donné que la vitesse de l'hydratation conduisant tout d'abord à la prise et ensuite au durcissement dépend de la présence de l'eau il est nécessaire d'empêcher le béton de sécher complètement durant la période de séchage. On peut obtenir des conditions de séchage appropriées en maintenant le béton humide, par inondation, par aspersion ou par application de toiles humides durant des périodes allant jusqu'à 7 jours ou dans certains cas spéciaux jusqu'à 14 jours ou plus. Ou bien encore, dans certains cas, lorsque cela est possible, on peut appliquer à la surface un composé destiné à favoriser le séchage. Ce composé forme un film imperméable qui empêche l'eau de s'évaporer trop vite.

Le processus d'hydratation est considérablement ralenti aux basses températures. Pour les constructions d'hiver des précautions spéciales comme le chauffage des matériaux avant le mélange ou l'emploi d'isolants ou d'abris peuvent être nécessaires pour assurer un durcissement suffisant par le maintien d'une température adéquate pendant quelque temps avant que les ouvrages ne soient exposés aux conditions de gel. On peut se servir de l'avantage donné par la chaleur qui est produite durant le processus d'hydratation dans le cas des masses de béton. Cette chaleur peut persister pendant des jours.

En été la chaleur de l'hydratation peut causer des difficultés par suite de la présence dans la masse du béton de températures excessivement élevées. Il faut alors employer des ciments chauffant très peu. En ce qui concerne les ouvrages massifs comme les barrages on peut provoquer un refroidissement artificiel au moyen de tuyaux enfouis dans le béton.

Propriétés du béton séché

Le béton dense complètement durci a une nature qui ressemble à celle de la pierre. De même que la plupart des matériaux semblables à la pierre sa résistance à la compression est

largement supérieure à sa résistance à la tension, ces deux résistances étant souvent dans le rapport de 10 à 1. Ce n'est donc pas un matériau efficace par lui-même pour résister aux efforts de flexion et de tension mais il peut, pour certaines applications, être employé avec des armatures métalliques. Ces armatures supportent les efforts de tension tandis que le béton supporte les compressions et tient le tout. Heureusement l'expansion thermique du béton ordinaire et celle de l'acier sont approximativement les mêmes et tous les deux sont astreints approximativement aux mêmes efforts lorsqu'ils sont chargés jusqu'à concurrence des limites normales de travail, de telle sorte qu'ils travaillent bien ensemble. Des problèmes spéciaux peuvent se présenter dans quelques ouvrages lorsque ces conditions n'existent pas.

Le béton a tendance à rétrécir à mesure qu'il atteint sa résistance. Ces rétrécissements ne sont pas insignifiants et il faut en tenir compte dans l'établissement des plans. Il y a une autre tendance au rétrécissement au moment où le béton finit de sécher. Des fissures causées par ces rétrécissements peuvent se produire des mois ou même des années après la construction dans le cas de gros ouvrages qui perdent leur excédent d'eau très lentement. Le rétrécissement dû au séchage peut se transformer en une augmentation de volume lorsque la teneur en eau est rétablie. Un autre type de rétrécissement qui est dû à une réaction chimique entre l'anhydride carbonique dans l'air et le ciment qui conduit à une carbonisation aux abords de la surface exposée a lieu encore plus lentement et il faut de nombreuses années pour qu'il pénètre même d'un pouce dans le béton normal. Dans certaines conditions spéciales cet effet peut aggraver les problèmes du rétrécissement et provoquer des fissures.

Il existe une grande variété d'autres circonstances donnant lieu à des propriétés inusitées pour les agrégats et donnant lieu quelquefois à des réactions chimiques inusitées entre le ciment et les agrégats lesquelles peuvent conduire à des modifications dimensionnelles anormales. On peut éviter un grand nombre de ces difficultés possibles en ayant recours aux divers essais spéciaux qui ont été mis au point. De nouvelles difficultés, non encore identifiées, peuvent quelquefois se produire.

Un rétrécissement excessif des blocs de maçonnerie en béton peut se produire si on se sert de ces blocs avant que la majeure partie du rétrécissement de prise ou de séchage ait eu lieu. Un grand nombre de ces éléments sont maintenant passés à l'autoclave ou traités à la vapeur, à l'usine, en vue d'accélérer leur séchage et leur rétrécissement. On expose maintenant les éléments à certains gaz dans une chambre spéciale à l'usine afin d'essayer de réduire davantage leur rétrécissement éventuel. La tendance à une certaine modification dimensionnelle est une propriété inhérente au béton comme à de nombreux autres matériaux. Les difficultés qui découlent de cette tendance peuvent cependant être évitées grâce à des projets réalistes où l'on tient compte de la nature des matériaux, où l'on choisit des éléments convenablement séchés et où l'on apporte un soin particulier à la teneur en humidité au moment de la mise en place. Les éléments qui sont placés humides rétréciront inévitablement en séchant dans des conditions ambiantes normales. D'après le même raisonnement les éléments qui sont livrés très secs pourraient gagner du volume dans une ambiance d'humidité normale ce qui cependant constitue rarement un problème.

Bétons légers

Le béton standard (ou dense) est fabriqué à partir d'agrégats qui proviennent de dépôts naturels de sable et de gravier ou de pierres concassées mais de nombreux autres agrégats peuvent être employés pour la fabrication d'autres types de béton. Ce qu'on cherche avec ces autres types d'agrégats c'est dans la plupart des cas à produire des bétons qui sont plus légers en poids mais qui ont tout de même une résistance suffisante pour les ouvrages auxquels ils sont destinés. On se sert de cendres, de laitiers, de laitiers en mousse, d'argiles ou de schistes déployés, de perlite, de vermiculite et même de sciures ou d'autres déchets de bois. Le cas extrême des bétons légers est représenté par les bétons-mousses dans lesquels des bulles de gaz remplacent les agrégats. La résistance et certaines autres propriétés des bétons légers peuvent être très différentes de celles des bétons denses selon les propriétés des agrégats employés.

Durabilité du béton

C'est la qualité du ciment durci plutôt que les agrégats qui détermine en premier lieu la durabilité du béton dans des conditions ambiantes très défavorables. Si la pâte est dense et si elle occupe tous les vides possibles autour des agrégats l'eau ne pourra entrer que très lentement si elle entre. Il s'agit là d'un grand progrès vers la durabilité du fait que le ciment et les agrégats seront de cette façon protégés des contacts possibles avec les agents chimiques environnants.

Les agents chimiques les plus courants qui provoquent la dégradation du béton au Canada sont les sulfates. On trouve ces derniers en fortes concentrations dans certaines étendues d'eau mais le plus souvent on les trouve en proportions dangereuses dans le sol ou dans l'eau du sol. Un bon béton, dense et sain peut généralement résister à des conditions sulfatiques modérées et lorsque les conditions sont plus sévères on peut prolonger longtemps son service avant sa dégradation en se servant de ciments capables de résister aux sulfates.

La durabilité dans les conditions de gel et de dégel n'est pas garantie par la densité ou l'imperméabilité du béton. Ces propriétés sont désirables du fait qu'elles sont généralement accompagnées d'une résistance supérieure et elles servent à limiter l'entrée de l'eau qui est un complice nécessaire pour le gel dans le cas des ruptures provoquées par lui. On s'est aperçu que la pâte dense peut être vulnérable à des gels répétés lorsqu'elle est humide mais que sa résistance peut être augmentée considérablement lorsque de l'air est introduit ou entraîné durant le malaxage pour créer une masse de petites bulles très rapprochées dans le mélange. Des agents d'entraînement de l'air peuvent être ajoutés en petites quantités au moment du malaxage ou, encore, ils peuvent être incorporés au ciment durant sa fabrication. C'est le rapprochement de ces bulles d'air plutôt que leur dimension qui détermine le degré de protection de telle sorte que le pourcentage de l'air dans le mélange n'est pas le seul facteur à considérer. La teneur en air exigée comme protection a relativement peu d'effets sur d'autres propriétés souhaitables et du fait que les petites bulles d'air sont complètement enfermées dans la pâte de ciment elles n'ajoutent pas grand'chose à la perméabilité et elles ne vont pas à l'encontre des pratiques destinées à obtenir un béton imperméable. La bonne répartition de l'air fera plus pour améliorer la durabilité d'un béton de qualité normale astreint à des cycles gel-dégel que n'importe quelle modification apportée aux autres facteurs qui déterminent le comportement général du béton.

Certaines des caractéristiques du béton ayant été passées en revue peuvent créer des problèmes. Il en va de même pour tous les autres matériaux. De nombreux problèmes peuvent être évités, généralement sans trop de difficultés, au stade du "design" à condition que le "designer" connaisse bien ses matériaux. Il existe une littérature abondante en ce qui concerne presque tous les aspects du béton dans laquelle on trouvera exposés en grands détails les points soulevés dans le présent Digeste.