

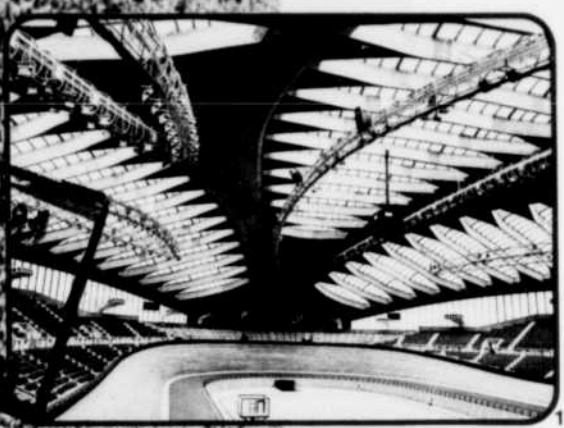
SEPTEMBRE/OCTOBRE 1978

No. 327

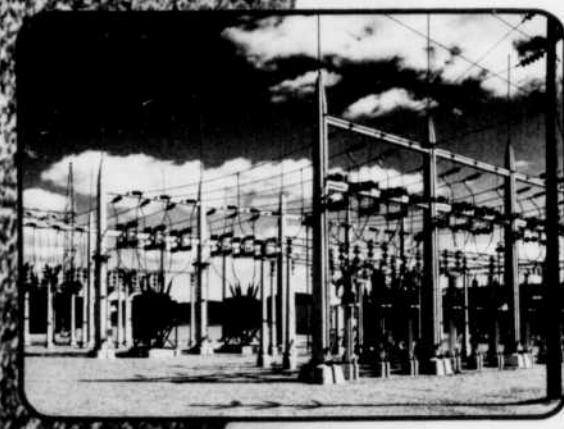
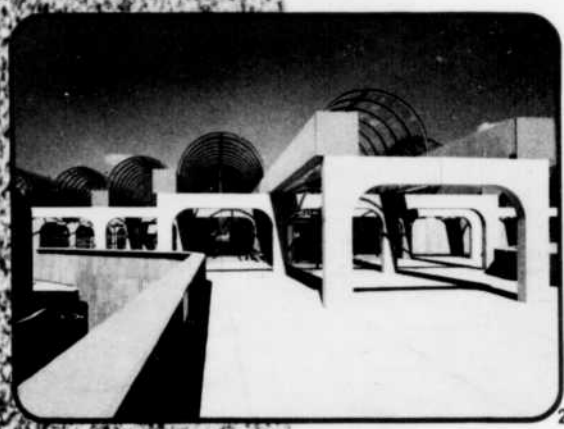
64^e année

L'INGÉNIEUR

L'INGÉNIEUR



DO NOT REMOVE
FROM THE LIBRARY
ENLEVER



Béton 1

Affranchissement en numéraire au tarif de la troisième classe Permis No H-23
Port de retour garanti : C.P. 6079, Succ. A, Montréal, Québec, H3C 3A7

Dept. of National Defence
Library 2nd Floor
101 Colonel By Drive
Ottawa
K1A 0K2



LE TUYAU CANRON EN FONTE DUCTILE. Y A PEUT-ÊTRE PLUS BEAU, MAIS Y A PAS PLUS FORT!

L'industrie de la tuyauterie se lance dans la mode: matériaux légers, finis brillants, coloris décor et quoi encore!

Chez Canron, on préfère la solidité. Les tuyaux qu'on enfouit sous terre se doivent d'avoir la force, la durabilité et la résistance à l'impact propres à la fonte ductile.

C'est la durabilité qui compte, pas la beauté.

Il y a des conduites d'eau en fonte ductile qui sont en service depuis plus de 100 ans. C'est ça la beauté d'un tuyau: résister à tout, longtemps! Fait à partir de fonte coulée, le tuyau Canron n'est pas rigide: il obéit aux contraintes des coups de bélier, des tassements de terrain et des surcharges soudaines. Une fois enfoui, on l'oublie. L'intérieur, en mortier de ciment durable, préserve la pureté de l'eau et empêche la formation de tubercules, assurant ainsi un plus grand débit.

Autres avantages: pas besoin de gants blancs pour la manutention; pas besoin

de méthodes coûteuses de remblayage; pas besoin de sellette de percement puisqu'il peut être taraudé directement. Et les joints Tyton sont à emboîtement facile et rapide.

Canron remporte les couleurs à quatre rigoureuses épreuves de force.

Le tuyau en fonte ductile répond à quatre critères importants: résistance minimale en traction de 60 000 lb/po. ca.; limite d'élasticité de 42 000 lb/po. ca.; élongation minimale de 10 p. 100; et résistance à l'impact telle qu'établie par la méthode Charpy. Canron et la CSA procèdent régulièrement à ces tests ainsi qu'à de nombreuses analyses chimiques et microstructurales minutieuses.

Le tuyau Canron: un fichu de bon placement.

Le tuyau Canron en fonte ductile se classe à part. Aucun autre matériau n'égale sa résistance à

la contrainte. Nul autre ne réunit aussi bien force, flexibilité, résistance à l'impact, durabilité, facilité d'installation et économie à long terme.

Aujourd'hui, les ingénieurs comptent également sur une autre de ses caractéristiques: son plus grand diamètre intérieur. Des études viennent en effet de démontrer que le diamètre intérieur d'un tuyau en fonte ductile doublé de mortier est sensiblement plus grand que celui de tout autre tuyau du même diamètre. Le débit est donc beaucoup plus grand et les pertes de tête sont moindres.

C'est pour cette raison et bien d'autres qu'aux yeux des investisseurs, le tuyau Canron en fonte ductile est un fichu de bon placement à long et à court termes.



CANRON
INC.
DIVISION DE LA TUYAUTERIE



SEPTEMBRE/OCTOBRE 1978
No 327
64^e année

L'INGÉNIEUR

ADMINISTRATION ET RÉDACTION

a/s École Polytechnique
Case postale 6079 - Succursale « A »
Montréal, Québec, H3C 3A7
Tél. : (514) 344-4764

COMITÉ ADMINISTRATIF

Guy SICARD, ing.
président
Jacques DE BROUX, ing.
Roger FYEN, ing.
René GINGRAS, ing.
Pierre GRAND'MAISON, ing.
André-A. LOISELLE, ing.
Michel ROBERT, ing.

SECRÉTAIRE ADMINISTRATIVE

Yolande GINGRAS

RÉDACTRICE

Madeleine G. LAMBERT

COMITÉ CONSULTATIF DE RÉDACTION

Thomas AQUIN, ing.
directeur
André BAZERGUI, ing.
Bernard BELAND, ing.
Gérald BELANGER, ing.
Guy DROUIN, ing.
Marc DROUIN, ing.
Marcel FRENETTE, ing.
Norman McNEIL, ing.
Thomas J.F. PAVLASEK, ing.
Marc TRUDEAU, ing.
Clément VIGNEAULT, ing.
Charles VILLEMAIRE, ing.

PUBLICITÉ

JEAN SÉGUIN & ASSOCIÉS INC.
Courtiers en publicité

601, Côte Vertu, St-Laurent, Québec H4E 1X8
Téléphone : (514) 748-6561

ÉDITEURS :

Association des Diplômés de Polytechnique
En collaboration avec l'École Polytechnique de Montréal,
la Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval et
la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Sher-
brooke. Publication bimestrielle. - Imprimeur : Les Pres-
ses Elite.

ABONNEMENTS :

Canada	\$10 / par année
Pays étrangers	\$12 / par année
Vente à l'unité	\$2

DROITS D'AUTEURS : Les auteurs des articles publiés dans L'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories ou des opinions émises par eux. Reproduction permise, avec mention de source; on voudra bien cependant faire parvenir à la Rédaction un exemplaire de la publication dans laquelle paraîtront ces articles. - Engineering Index, Biol., Chem., Sci., Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans L'INGÉNIEUR - ISSN - 0020-1138 - Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec.

Tirage certifié : membre de la
Canadian Circulation Audit Bureau



BÉTON - I

Coordonnateur

du présent numéro :

M. Pierre Claude Aïtcin est professeur titulaire au département de génie civil de l'Université de Sherbrooke. Ses recherches portent surtout sur l'utilisation des matériaux de construction minéraux (béton, bitume, sols, gypse, etc.) et sur l'utilisation des résidus miniers en génie civil (laitiers, cendres volantes, résidus des mines d'amiante, etc.).

ARTICLES

5 LE CIMENT ET LE BÉTON

par Pierre Claude Aïtcin, Dr-Ing., ing.

Le béton est un matériau de construction très utilisé à travers le monde. Il est facile à fabriquer, bon marché, il s'accommode de n'importe quel climat, il ne brûle pas, il ne pourrit pas, il est presque éternel. Ne déterre-t-on pas encore de nos jours des constructions romaines à base de béton en parfait état de conservation. C'est pourtant un matériau fort mal connu et quelquefois fort mal utilisé.

15 ÉVOLUTION DU DESIGN EN BÉTON

par Jules Houde, Ph. D., ing.

Plus d'un siècle de développements a permis de voir la résistance du béton passer de 14 à 50 MPa. Un meilleur contrôle des matériaux justifie des facteurs de sécurité de l'ordre de 1.5. Les ennuis causés par la faible résistance à la traction du béton disparaissent avec l'usage de la précontrainte qui permet des réalisations spectaculaires.

27 À PROPOS DE L'INSPECTION DU BÉTON

par Gilbert Haddad, Dr-Ing., ing.

Le rôle de l'inspection dans la construction d'ouvrages en béton est souvent mal interprété. Cet article contribuera à redéfinir l'inspection en la présentant sous une optique réaliste, tout en mettant en question certains préjugés.

33 L'AMIANTE-CIMENT

par Marcel Cossette, ing., et
Pierre Delvaux, D.Sc.A.

Le Canada est un des plus grands producteurs d'amiante du monde. La majeure partie de l'amiante est utilisée dans la fabrication de l'amiante-ciment. Paradoxalement, ce matériau de construction, très en vogue en Europe et au Japon, est très peu utilisé en Amérique du Nord. Cet article a pour but de présenter brièvement la technologie de l'amiante-ciment et ses principales applications.

RUBRIQUES

41 LE MOIS : chroniques mensuelles

48 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

PAGE COUVERTURE (Conception graphique : Claude Groulx)

Photo 1 - Vélodrome, Parc Olympique, Montréal, Québec
(Courtoisie : Francon Limitée)

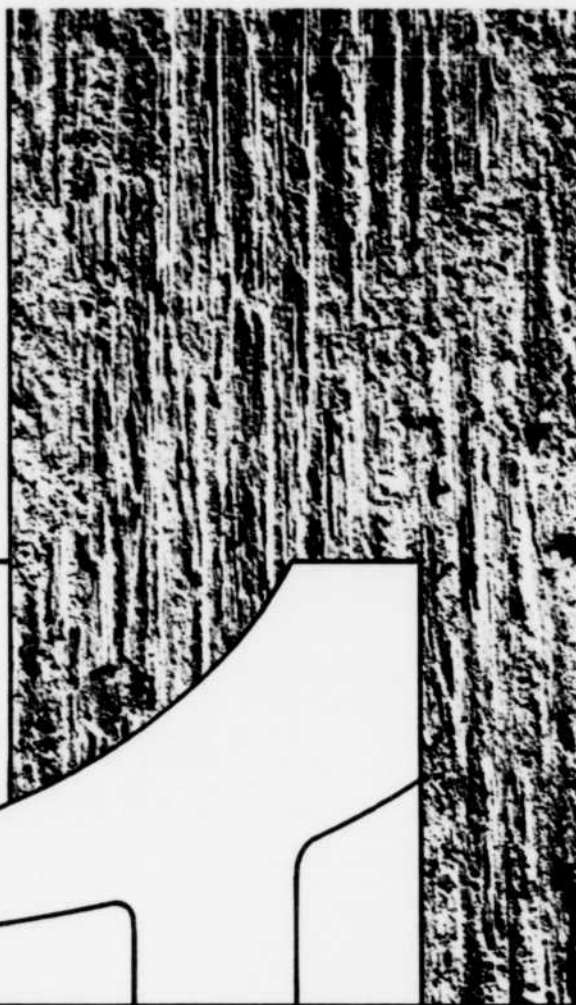
Photo 2 - Station de métro Angrignon, Montréal, Québec
(Courtoisie : Francon Limitée)

Photo 3 - Tour CN, Toronto, Ontario
(Courtoisie : Nicolet, Carrier, Dressel & Associés Ltée)

Photo 4 - Section d'un aqueduc romain
(Courtoisie : Pierre Claude Aïtcin)

Photo 5 - Sous-station Hydro-Québec, Ste-Agathe, Québec
(Courtoisie : Francon Limitée)

Des produits
indispensables
à la construction
sous toutes
ses formes



CIMENTS ST-LAURENT

une grande entreprise • un nom prestigieux

La revue L'INGÉNIEUR et son orientation

La revue L'INGÉNIEUR est publiée sur une base bimestrielle et tirée à environ 10.000 exemplaires dont 85% sont distribués au Québec. Depuis sa création en 1915, sous l'appellation « revue trimestrielle canadienne », par l'Association des Diplômés de Polytechnique (ADP), la revue a évolué de façon continue ; c'est en 1955 que le nom L'INGÉNIEUR lui est consacré.

Rappelons que les principaux objectifs de L'INGÉNIEUR sont :

- maintenir un lien entre les différents corps professionnels francophones reliés de près ou de loin aux travaux de génie ;
- permettre un échange de connaissances sur des études, des constructions ou des réalisations de projets d'intérêt général ;

- faire connaître aux ingénieurs les différentes réalisations dans le domaine du génie au Québec ;
- sensibiliser les ingénieurs aux différents aspects du défi technologique québécois et des besoins actuels et futurs ;
- traiter de l'aspect humain du génie et de ses contraintes économiques et autres dans le respect de l'environnement.

Bien que publiée sous la responsabilité de l'ADP, la revue n'en est pas l'organe officiel. Elle est gérée par un Comité administratif et sa politique rédactionnelle relève d'un Comité consultatif dont les membres ont une compétence qui couvre les différents milieux de génie du Québec.

L'INGÉNIEUR se veut un recueil d'articles scientifiques, notes techni-

ques et discussions présentés sous une forme non spécialisée, facile à lire par l'ensemble des ingénieurs. Les articles soumis sont évalués dans le cadre d'un système d'expertise faisant appel normalement à trois examinateurs. Seuls les articles originaux sont acceptés pour publication ; cependant le Comité consultatif de rédaction peut accepter un article ayant eu une publication restreinte si sa diffusion plus vaste est jugée utile et d'intérêt pour les ingénieurs lecteurs de la revue.

Les articles peuvent être soumis par les auteurs ou encore sur invitation, *particulièrement dans le cadre des numéros thématiques*. Les articles sont normalement publiés quatre mois environ après la date de réception.

Le Comité consultatif de rédaction

BÉTON — I

Ce numéro thématique sur le béton a été réalisé grâce à nos collaborateurs, aux membres de nos Comités de lecture, à nos annonceurs, ainsi qu'aux entreprises et associations dont les noms figurent ci-après :

- Association Béton Québec
- Association Canadienne des Laboratoires d'Essais
- Association Canadienne du Ciment Portland
- Prud'homme & Frères Ltée
- St-Romuald Construction Ltée

Au nom des membres des Comités administratif et consultatif, nous désirons remercier sincèrement tous ceux qui ont participé à ce projet pour la confiance qu'ils ont témoignée à L'INGÉNIEUR.

Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur le prochain numéro de L'INGÉNIEUR (novembre/décembre 1978) qui reprendra le thème BÉTON, avec au programme les sujets suivants :

- *Le béton à la Baie James*
- *Les bétons spéciaux*
- *Pont de Grand-Mère sur l'autoroute 55 au-dessus de la rivière St-Maurice*
- *Calcul, propriétés et utilisation du ferrociment*
- *L'avenir de la préfabrication en béton dans le secteur de l'habitation.*

La rédactrice,
Madeleine G. LAMBERT



*Si l'artiste
avait connu
le béton de
résistance supérieure
obtenu avec le
ciment que nous
produisons,
la Vénus
tiendrait
peut-être
une fleur
entre
ses doigts...*

CIMENT QUÉBEC

POUR DÉFIER LE TEMPS



LE CIMENT ET LE BÉTON

par Pierre Claude Aïtcin, Dr-Ing., ing. *

Sommaire

Le béton est un matériau de construction très utilisé à travers le monde. Il est facile à fabriquer, bon marché, il s'accommode de n'importe quel climat, il ne brûle pas, il ne pourrit pas, il est presque éternel. Ne déterre-t-on pas encore de nos jours des constructions romaines à base de béton en parfait état de conservation. C'est pourtant un matériau fort mal connu et quelquefois fort mal utilisé.

Introduction

Dans le langage courant, on confond très souvent le sens des mots ciment et béton. Le **ciment** est cette poudre de couleur grise (en général) que l'on mélange avec de l'eau, du sable et de la pierre ou du gravier concassé pour obtenir un matériau qui durcit au bout de quelques heures, que l'on appelle **béton**. Le **mortier** est un mélange plastique de ciment (et parfois de chaux), d'eau et de sable utilisé pour liasonner des éléments de maçonnerie ou d'autres éléments de construction. Un **coulis**, enfin, est un mélange fluide de ciment et d'eau, qui peut contenir aussi une poudre minérale fine, que l'on peut injecter sous pression dans des ancrages, des trous de forage ou des gaines de câble de postcontrainte.

Bien que le béton soit un matériau très couramment utilisé, c'est quand même un matériau fort mal connu. Sans oser prétendre que notre civilisation moderne repose sur de solides bases de béton, on pourra se rendre compte d'après les quelques chiffres qui suivent de l'importance du ciment et du béton comme matériau de construction.

Mais qu'est-ce donc que le ciment ? Comment l'homme a-t-il découvert le ciment ? Comment le fabrique-t-il ? Comment l'utilise-t-il ? Quel est son avenir ?

* L'auteur :

M. Pierre Claude Aïtcin, coordonateur du présent numéro — voir notice biographique en page sommaire.

PAYS	Consommation de ciment en kg* par an par habitant (1976) ¹
------	--------------------------------------------------------------------------

Canada	401
États-Unis	283
Italie	608
Allemagne	511
France	543

* On peut multiplier ces chiffres par 8 pour avoir la consommation de béton par an par habitant.

Historique

Dans sa lutte pour assurer sa survie, l'homme a dû toujours chercher à s'abriter et à se protéger. Au début, il l'a fait en utilisant des abris naturels telles les grottes, puis en construisant des abris plus ou moins permanents faits à partir des matériaux naturels qu'il avait à la portée de la main : branchages, peaux de bêtes, feuilles, pierres, roseaux, boue séchée et même de la neige tassée chez les esquimaux.

Tant que l'homme est resté surtout un nomade, il a pu se contenter d'abris rudimentaires faciles à construire mais peu durables. Par la suite, devenant sédentaire, il ressentit le besoin de construire des abris de meilleure qualité.

Malgré tous les perfectionnements apportés aux techniques d'utilisation des matériaux naturels : taille de la pierre, équarrissage des troncs d'arbre, incorporation de paille dans les briques de terre séchée, utilisation du bitume de Judée comme liant entre les briques de Babylone, etc., les possibilités des matériaux naturels demeuraient limitées par rapport à celles des principaux liants artificiels que l'homme allait, petit à petit, découvrir au hasard de trouvailles heureuses.

Le plâtre, premier liant artificiel connu, a été utilisé couramment par les Assyriens, les Phéniciens et les Egyptiens². Ce dernier s'obtient aisément en chauffant (entre 110 et 160°C) du gypse, une roche assez commune, qui se présente souvent sous forme de gisements

superficiels facilement exploitables. Il suffit de mélanger le gypse partiellement déshydraté (alors appelé plâtre) avec de l'eau pour obtenir un matériau qui durcit et devient semblable à la roche initiale. En fait, le gypse décrit le cycle schématisé de la façon illustrée à la figure 1.

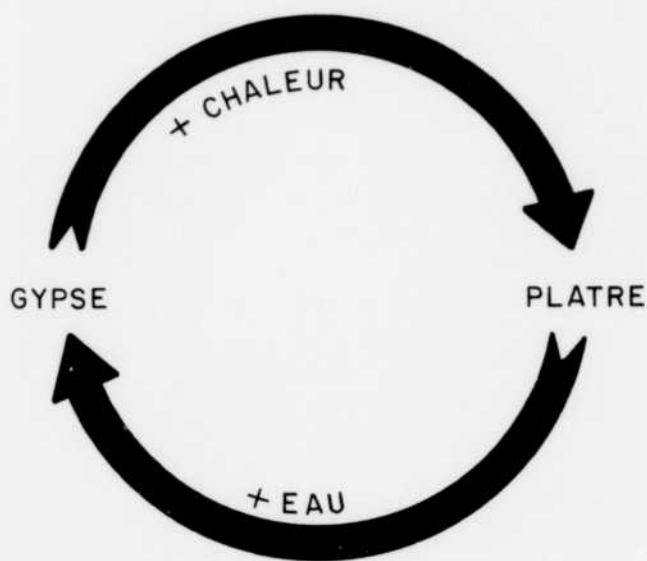


Figure 1 - Cycle du gypse.

Le plâtre présente cependant certains inconvénients, étant un matériau peu résistant et très sensible à l'humidité. Ceci explique le fait qu'il ne reste peu de vestiges du passé édifiés à l'aide de ce matériau.

Le premier progrès réel dans la mise au point des liants artificiels a été réalisé lorsqu'un homme s'est aperçu qu'en chauffant au rouge du calcaire (de 800 à 950°C), puis en l'arrosant d'eau pour le refroidir, il obtenait une pâte qui durissait à l'air³. Ce fut la découverte de la chaux.

Là encore, le calcaire décrit un cycle complet que l'on peut schématiser de la façon montrée à la figure 2.

Il est admis de nos jours que les Crétois, les Etrusques et les Phéniciens fabriquaient et utilisaient de la chaux dans leur construction. Cependant, ce sont les Grecs d'abord, puis les Romains par la suite qui fabriquèrent les premiers bétons en mélangeant du sable, de la pierre concassée et de la chaux.

Même si la chaux est un liant remarquable, que l'on utilise encore de nos jours, elle présente l'inconvénient de ne pouvoir durcir sous l'eau. Les Grecs et les Romains avaient remarqué qu'en mélangeant la chaux avec des cendres volcaniques ou des tuiles d'argile finement broyées, ils obtenaient un liant qui avait la propriété de durcir sous l'eau.

On sait aujourd'hui que la silice et l'alumine contenues dans les cendres volcaniques ou les tuiles broyées se combinent à la chaux en présence d'eau pour produire ce que l'on appelle un ciment pouzzolanique. Le terme pouzzolanique vient d'ailleurs du nom du village de Pozzoli (en latin Putcoli) niché sur les flancs du Vésuve d'où les Romains extrayaient les cendres volcaniques qu'ils mélangeaient à la chaux.

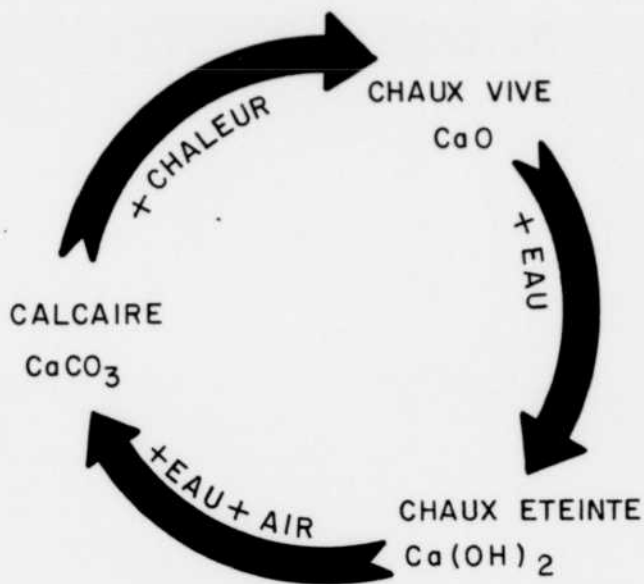


Figure 2 - Cycle de la chaux.

Le ciment romain était de bonne qualité puisqu'après 2 000 ans bon nombre d'édifices construits avec ce matériau défient encore le temps : le Colisée de Rome, le Pont du Gard à Nîmes, le Panthéon. Dans les ruines de Pompéï, on a même pu remarquer que bien souvent le mortier avait mieux résisté que les pierres tendres qu'il servait à jointoyer.

Les Romains utilisèrent leur technique à travers tout leur empire, sachant même se servir avec profit de matériaux locaux ressemblant à ceux qu'ils employaient près de Rome, ainsi qu'en témoignent les restes, fort bien conservés de cet aqueduc construit en 80 après J.C., près de Cologne en Allemagne (figure 3).

Cependant, toute cette technologie s'est pratiquement perdue lors d'invasions barbares, si bien qu'au Moyen Âge la technique de fabrication du ciment avait presque complètement disparue, tout au plus calcinaient-on encore de la chaux de plus ou moins bonne qualité.

Il semble que certaines tribus indiennes du Mexique actuel savaient fabriquer des ciments naturels en calcinant des calcaires impurs contenant de l'argile. En effet, on a découvert dans la région de San Diégo les vestiges d'un petit barrage construit, vers 1769 par des missionnaires, à l'aide d'un ciment naturel que des Indiens leur auraient appris à fabriquer⁴.

En Europe, il a fallu attendre la deuxième moitié du 18e siècle et le début du 19e siècle pour que des progrès sensibles soient réellement réalisés dans le domaine des ciments. La première étude vraiment scientifique sur les ciments a été réalisée par un ingénieur anglais, John Smeaton vers 1756⁵. John Smeaton s'était heurté à de sérieuses difficultés lors de la construction d'un phare à Eddystone, sur la côte de Cornouailles, particulièrement balayée par les tempêtes. À plusieurs reprises, les vagues avaient emporté la base du phare. Après de nombreuses expériences, Smeaton en arriva à la conclusion que pour travailler sous l'eau il fallait utiliser un mélange de chaux éteinte et de cendre vol-



Figure 3 – Section d'un aqueduc romain.

canique ou, mieux encore, une chaux provenant d'un calcaire impur contenant de 15 à 20% d'argile. Il ne publia pas cette découverte et il fallut attendre 1791 pour voir apparaître presque simultanément, en France et en Angleterre, les premiers ciments naturels obtenus en calcinant des calcaires impurs.

Le premier brevet décrivant la fabrication d'un ciment fut déposé en 1824 par un maçon anglais, Joseph Aspdin. Il donna le qualificatif de portland à son ciment car, une fois durci, le ciment avait une couleur qui lui rappelait celle des calcaires de la presqu'île de Portland, à l'ouest de l'île de Wight.

Cependant, le véritable inventeur du ciment moderne est un autre anglais, Isaac C. Johnson, qui en 1844 découvrit les véritables proportions de calcaire et d'argile à utiliser pour obtenir le meilleur ciment portland possible. Dès lors, jusque vers la fin du siècle, on voit apparaître des cimenteries équipées de fours verticaux de plus en plus grands et perfectionnés, mais semblables dans leur principe à ceux des Romains. À la fin du 19^e siècle les cimenteries proposaient aux ingénieurs deux types différents de ciment. D'une part, des ciments naturels bon marché obtenus en calcinant certains calcaires naturels impurs, de qualité plus ou moins variable, et, d'autre part, des ciments portland plus constants mais plus dispendieux obtenus en mélangeant des proportions bien définies de calcaire et d'argile. Le premier ciment portland canadien a été fabriqué à Hull en 1889. Au fil des ans, le ciment naturel a perdu du terrain face au ciment portland artificiel qui était de meilleure qualité. De nos jours, il ne se fabrique pratiquement plus de ciment naturel.

Ce n'est qu'en 1895 que sont apparus les premiers fours à ciment rotatifs qui constituent encore à l'heure actuelle le cœur même d'une cimenterie moderne. Actuellement, des usines de plus en plus automatisées et de plus en plus gigantesques fournissent à l'industrie un des liants les plus versatiles et des moins chers qui existe, le ciment portland.

Principe de fabrication du ciment portland⁶

Comme on peut le voir sur l'organigramme suivant, la fabrication du ciment portland comporte les quatre grandes étapes suivantes : (figure 4)

- Extraction des matières premières
- Pulvérisation des matières premières et homogénéisation
- Cuisson des matières premières
- Broyage du clinker et addition de gypse

Pour fabriquer du ciment portland, il faut commencer par rechercher des matières premières qui contiennent des proportions bien définies de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. En général, les cimenteries exploitent deux carrières : une carrière de calcaire qui apporte la quantité de chaux nécessaire et une carrière d'argile ou de schiste qui apporte la quantité nécessaire de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. Au Québec, cependant, la plupart des cimenteries n'exploitent qu'une seule carrière, puisque l'on retrouve dans le sous-sol québécois des couches alternées de calcaire et de schiste dont on peut ajuster facilement les proportions, de façon à obtenir un mélange ayant la composition chimique du ciment portland.

Les matières premières sont donc sélectionnées, homogénéisées puis broyées en fine poudre. Après homogénéisation (de plus en plus par voie sèche), cette poudre est introduite dans un four rotatif incliné d'assez grandes dimensions (diamètre intérieur jusqu'à 5 m, longueur jusqu'à 200 m) où elle est progressivement chauffée jusqu'à ce que l'on obtienne une fusion pâteuse (de 1430°C à 1650°C).

C'est au cours de cette opération que se produisent les réactions chimiques qui conduisent à la formation de granules plus ou moins gros, de couleur gris foncé, le clinker.

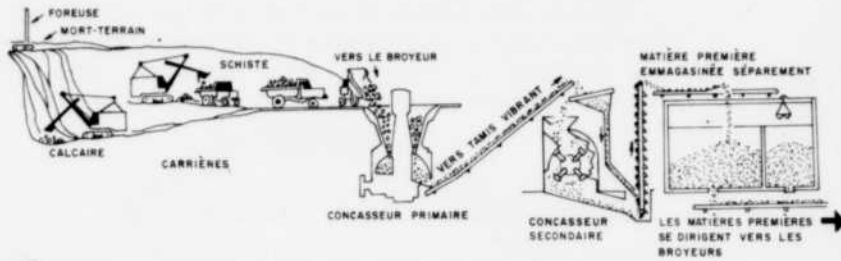
Pour transformer le clinker en ciment, il suffit de le broyer très finement et de lui rajouter 1 à 2% de gypse pour retarder et régulariser la prise du ciment.

Durcissement du ciment portland⁷

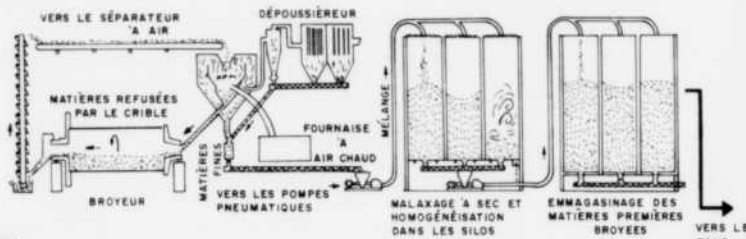
Dans les grains de ciment portland, on retrouve essentiellement les quatre constituants suivants :

- du silicate tricalcique $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ qui durcit rapidement et est responsable de la prise et de la résistance initiale ;
- du silicate bicalcique $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ qui durcit lentement et est responsable des gains de résistance à long terme ;

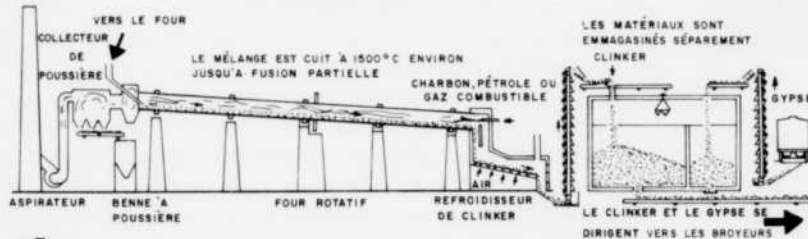
1 LA PIERRE EST D'ABORD RÉDUITE À UNE GROSSEUR 150 mm
ENSUITE DE 20mm PUIS EMMAGASINÉE .



2 LES MATIÈRES PREMIÈRES SONT RÉDUITES EN POUDRE
ET HOMOGENÉISÉES .



3 LA CUISSON TRANSFORME LE MÉLANGE EN CLINKER DE CIMENT



4 LE CLINKER, AUQUEL ON AJOUTE DU GYPSE, EST BROYÉ.

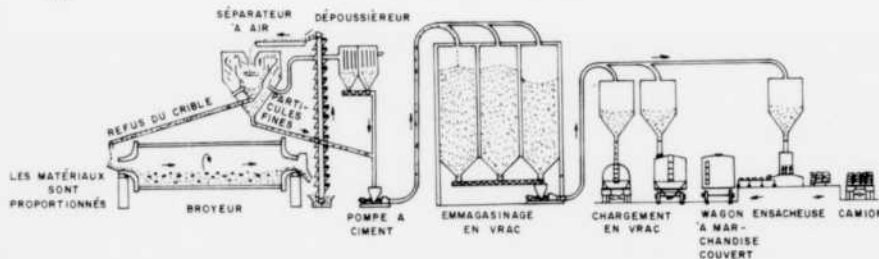


Figure 4 — Principe de fabrication du ciment portland.

- de l'aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ qui libère une grande quantité de chaleur durant les premiers jours de durcissement ;
- de l'aluminoferrite tétracalcique $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_3$ qui diminue la température de formation du clinker, ce qui permet de baisser les coûts de fabrication du ciment portland.

Lorsqu'on mélange du ciment avec de l'eau, celle-ci se combine à ces différents composés pour donner naissance à plusieurs minéraux hydratés complexes qui, en s'enchevêtrant, donnent de la cohésion au mélange. Cette réaction chimique se fait avec un dégagement de chaleur que l'on appelle la chaleur d'hydratation.

La pâte de ciment continue à durcir et à prendre de la résistance tant que l'hydratation des particules de ci-

ment se poursuit, c'est-à-dire tant qu'il y a de l'eau et une température favorable (ni trop chaude ni trop froide, 10°C de préférence), si bien qu'un béton peut mettre de 7 à 28 jours ou même plus à développer 90% de sa résistance mécanique, car l'hydratation complète du ciment est une réaction relativement lente. Il est facile de contrôler cette vitesse de durcissement avec des adjuvants appropriés.

Différents types de ciment

Bien qu'il existe de très nombreux types de ciment usuels tels que les ciments à maçonner, fabriqués spécialement pour les maçons et briqueteurs, les ciments pour puits de pétrole, les ciments expansifs, les ciments à prise contrôlée, les ciments réfractaires qui peuvent résister à de très hautes températures, nous ne donnerons que les principales caractéristiques des ciments

portland qui sont les plus utilisés dans l'industrie de la construction.

Les normes de l'ACNOR (Association Canadienne de Normalisation) définissent cinq types de ciment portland, alors qu'il en existe des dizaines dans d'autres pays (U.S.A., France par exemple). Bien que ce chiffre de cinq paraisse à première vue très faible, l'industrie de la construction s'en satisfait très bien. Dans tout l'Est du Canada et au Québec, on utilise même pratiquement que trois types de ciment. Ce sont :

— Le *ciment normal*, ou ciment de Type 10 : c'est le ciment qui rencontre les exigences minimales. Il est aussi le plus économique. C'est ce type de ciment qui est utilisé dans les bétons des fondations, des pavages, des trottoirs, des édifices, des réservoirs, des tuyaux de béton, des blocs de maçonnerie, etc.

— Le *ciment modéré*, ou ciment de Type 20. Ce type de ciment s'utilise dans deux cas bien précis, lorsque le béton risque d'être en contact avec un sol ou des eaux contenant des sulfates qui pourraient l'endommager à la longue, ou encore lorsque l'on désire que la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation ne soit pas trop élevée. C'est un ciment de ce genre qui a été utilisé à Manic 5 et qui est utilisé à l'heure actuelle à la Baie James.

— Le *ciment à haute résistance initiale*, ou ciment de Type 30. Comme son nom l'indique, c'est un ciment qui permet d'obtenir des bétons dont la résistance se développe très rapidement dès les premiers jours, ce qui ne rend pas sa résistance à long terme forcément supérieure à celle d'un type de béton semblable fait avec du ciment de Type 10. Ce type de ciment est très utilisé dans les usines de préfabrication car il permet un démoulage ou une précontrainte plus rapide, ou lors de certains travaux extérieurs l'hiver, lorsque l'on veut diminuer la durée de protection par temps froid. En effet, la chaleur d'hydratation de ce type de ciment est plus élevée que celle d'un ciment de Type 10, si bien que la masse de béton s'échauffe plus rapidement durant les premières heures qui suivent la prise du béton, période durant laquelle le béton est le plus vulnérable au gel.

Les deux derniers types de ciment normalisés au Canada, le *ciment à basse chaleur d'hydratation*, ou ciment de Type 40, et le *ciment résistant aux sulfates*, ou ciment de Type 50 ne sont pratiquement pas fabriqués ni utilisés au Québec.

Le béton

Avec du ciment, on fabrique surtout du béton. Pour obtenir du béton, il suffit de mélanger des proportions convenables de ciment, d'eau, de sable, de pierre et d'air.

Le béton doit avoir des propriétés bien particulières aux différentes étapes de son utilisation. Il doit pouvoir

se couler très facilement tant qu'il est plastique et, une fois durci, il doit être très résistant aussi bien aux efforts qu'aux intempéries.

Comment donc obtenir un bon béton ?

Même si le ciment est l'ingrédient essentiel du béton, il ne faut pas négliger pour autant, comme on le fait trop souvent hélas dans la pratique, le rôle de l'eau, des granulats et de l'air que l'on incorpore dans le mélange.

Le rapport eau/ciment

En effet, la résistance en compression d'un béton n'est pas uniquement proportionnelle à la quantité de ciment introduite dans le béton mais dépend surtout du rapport entre les quantités d'eau et de ciment utilisées dans le mélange. C'est le rapport eau/ciment. Plus ce rapport est faible, plus le béton est résistant. Cependant, il faut que le béton soit maniable pour qu'on puisse le placer facilement.

En pratique, on est obligé d'ajouter plus d'eau qu'il n'en faudrait pour hydrater tous les grains de ciment. Cet excès d'eau ne se combinant pas avec le ciment affaiblit le béton, tant du point de vue mécanique que du point de vue résistance aux intempéries.

L'air occlus

De façon à améliorer la résistance du béton aux intempéries et à accroître sa maniabilité à l'état plastique, on incorpore au béton, au moyen d'agents entraîneurs d'air, des milliards de bulles d'air microscopiques dont le volume total représente normalement 6% du volume total du béton (*figure 5*).

La découverte des effets bénéfiques de l'air occlus dans le béton fut tout à fait fortuite. Vers les années 30, on remarqua aux États-Unis que certains pavages en béton résistaient beaucoup mieux que d'autres aux cycles de gel et de dégel. Une étude au microscope montra que tous les bétons qui résistaient bien au gel contenaient un très grand nombre de petites bulles d'air. On s'aperçut alors que ce phénomène était relié à la méthode de broyage du ciment.

En effet, de façon à faciliter le broyage final du clinker, certaines cimenteries utilisaient des agents de mouture à base d'huile végétale ou de savon qui entraînaient de petites bulles d'air dans le béton lors du malaxage. L'amélioration du comportement du béton aux cycles de gel et de dégel était donc un effet secondaire bénéfique de l'utilisation des agents de mouture. Dès 1938, on utilisa systématiquement des entraîneurs dans la construction de route et, en 1939, une usine américaine fabriqua un ciment spécial contenant un entraîneur d'air.

Au Canada, l'addition d'un entraîneur d'air dans le béton au moment de sa fabrication est un procédé très répandu car, en plus d'améliorer la plasticité du béton frais et la résistance du béton durci aux cycles de gel et de dégel, l'air occlus améliore aussi l'imperméabilité du béton et sa résistance aux sulfates.

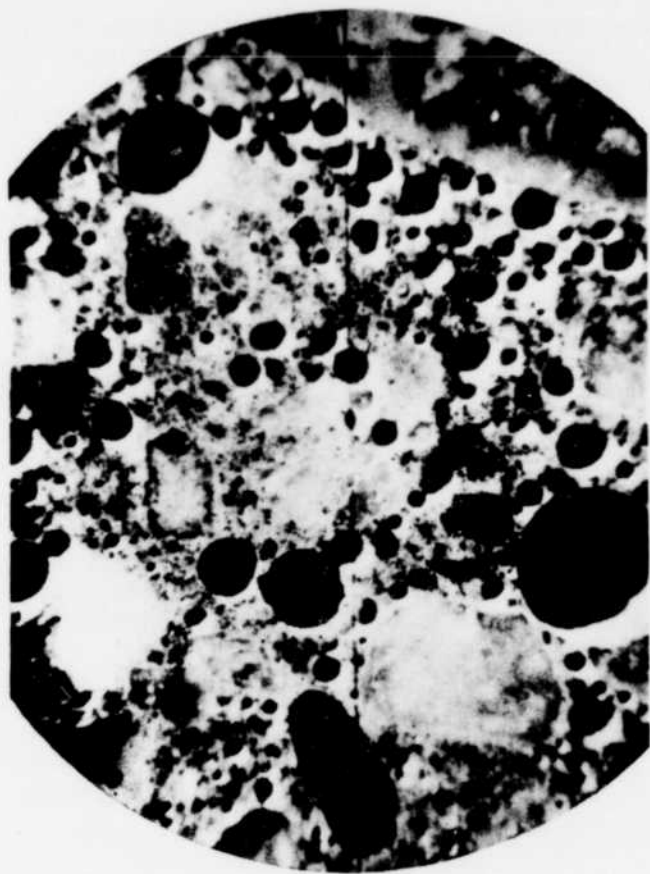


Figure 5 — Lame mince de béton contenant de l'air entraîné.

Les granulats

Le sable et la pierre que l'on utilise dans le mélange doivent être propres et avoir une granulométrie (répartition des grosseurs des grains) conforme à des normes bien précises. De plus, la composition chimique du sable et du ciment est importante, car certaines roches et certains sables peuvent réagir avec le ciment et endommager le béton de façon irrémédiable.

La grosseur maximale des granulats que l'on utilise dans le béton varie de 14 à 28 mm en général pour les bétons ordinaires, mais peut aller jusqu'à 300 mm dans les bétons dits « cyclopéens » utilisés dans la construction de certains barrages.

Le mûrissement

Pour obtenir un béton durable et résistant, il ne suffit pas d'acheter un béton de bonne qualité, il faut le mûrir convenablement en lui fournissant toute l'eau et la chaleur dont il a besoin, surtout durant les premiers jours qui suivent sa mise en place.

Les adjuvants

En plus du ciment, de l'eau, du sable, de la pierre et de l'air occlus, toute une gamme de produits chimiques, plus ou moins complexes, peuvent être incorporés dans le béton. Ces produits sont capables de modifier une ou plusieurs propriétés du béton frais et/ou durci. Citons par exemple les réducteurs d'eau, les plastifiants, les retardateurs de prise, les accélérateurs de prise, les agents de pompage, les agents moussants,

etc., dont les noms décrivent de façon très explicite leur action.

Un des derniers développements majeurs dans le domaine des adjuvants a été la mise en marché très récente de produits vendus sous le nom de superplastifiants.

Il est préférable de toujours chercher à utiliser le moins d'eau de malaxage possible, tout en essayant d'obtenir un béton qui se place bien. Plusieurs personnes se sont appliquées à mettre au point des techniques de construction destinées à éliminer l'excès d'eau contenu dans le béton. Cet excès d'eau peut être aspiré avec une pompe à vide (technique de l'essorage sous vide) ou, au contraire, il est possible de presser le béton afin d'éliminer l'eau qui n'est pas nécessaire à son hydratation. L'utilisation d'un certain nombre de réducteurs d'eau permet aussi d'obtenir une maniabilité donnée en diminuant la quantité d'eau de gâchage. Cependant, ce n'est que tout récemment que furent mis au point des dispersants suffisamment puissants pour permettre d'utiliser la quantité minimale d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment, tout en donnant un béton très maniable, ce sont les superplastifiants. Ces bétons contenant des superplastifiants ont été très utilisés lors de la construction du stade olympique de Montréal.

Quelques propriétés caractéristiques du béton plastique

Même si la période durant laquelle le béton demeure plastique est relativement courte, les propriétés du béton plastique ont une grande importance technologique.

L'essai d'affaissement

Il faut que le béton frais soit maniable c'est-à-dire qu'il puisse se mettre en place aisément, qu'il épouse facilement les formes des coffrages et se glisse sans problème entre les aciers d'armature. Sur les chantiers, il est courant d'évaluer cette maniabilité à l'aide de l'essai d'affaissement qui consiste à mesurer l'affaissement d'un tronc de cône de béton compacté de façon normalisée. C'est ainsi que dans le jargon du métier, on parle d'un béton de 100 à 200 mm d'affaissement pour caractériser un béton relativement plastique.

La teneur en air

Il faut aussi que le béton frais contienne la bonne quantité d'air occlus. On mesure cette quantité d'air en comprimant un certain volume de béton frais et en appliquant la loi des gaz parfaits $P.V. = C^{te}$.

Le ressuage

Il faut que le béton ne resse pas, c'est-à-dire que l'eau que l'on a incorporée au mélange pour lui donner de la plasticité ne remonte pas en surface durant la vibration du béton. Cette remontée d'eau risque en effet d'augmenter le rapport eau/ciment en surface et d'affaiblir la partie du béton qui va être la plus exposée aux intempéries et à l'usure.

La ségrégation

Il faut enfin qu'il n'y ait pas de ségrégation. La ségrégation correspond à la séparation de la pâte de ciment (eau, sable, ciment) et de la pierre, ce qui rend le béton hétérogène et risque de l'affaiblir considérablement. Un autre des effets bénéfiques de l'air occlus est la diminution sensible des risques de ségrégation.

Quelques caractéristiques du béton durci

Lorsqu'il est bien fait, avec un bon pourcentage d'air occlus, une bonne vibration et un temps de mûrissement convenable avant d'être soumis à des cycles de gel et de dégel ou à l'action des sels de déglacage, le béton est capable de résister durant bien des années aux hivers canadiens.

Résistance

Le béton est un matériau qui a une bonne résistance en compression, d'autant plus élevée que son rapport eau/ciment est faible, en général de 15 à 55 MPa à 28 jours. Lors de l'établissement des dimensions d'un ouvrage en béton, la résistance en compression à 28 jours est introduite dans les calculs. La résistance en traction du béton est cependant beaucoup plus faible, de 3 à 5 MPa, c'est pourquoi il faut toujours chercher à faire travailler les éléments en béton en compression, ou à les armer d'acier dans les zones où peuvent se développer des contraintes de traction ou de cisaillement.

Imperméabilité

Le béton est un matériau imperméable, d'autant plus imperméable que son rapport eau/ciment est faible et que le pourcentage d'air est adéquat (6 à 7%). C'est ce qui en fait un matériau de choix pour la construction de beaucoup d'ouvrages hydrauliques. Si plusieurs sous-sols coulent au printemps ou à l'automne, c'est surtout à cause de fissures dues à des malfaçons plutôt qu'à la perméabilité du béton.

Résistance à l'abrasion

Un béton ayant un faible rapport eau/ciment résiste relativement bien à l'abrasion et aux impacts. Cependant, dans les cas de certains planchers industriels, où l'on anticipe une usure superficielle particulièrement sévère, on peut améliorer la résistance à l'abrasion du béton en utilisant des durcisseurs de plancher. Ce sont des poudres à base de matériaux très durs que l'on saupoudre uniformément sur la surface à traiter et que l'on fait pénétrer dans le béton frais avec une truelle d'acier lors de la finition du plancher. On peut aussi incorporer de courtes fibres d'acier dans le béton pour améliorer sa résistance à l'abrasion comme on le verra dans l'article sur les bétons spéciaux au programme du numéro novembre/décembre 1978 de la revue L'Ingénieur.

Changements volumétriques

Le béton durci subit de légers changements de volume lorsque sa température et sa teneur en eau varient.

Lorsque le béton fait prise, il rétrécit, et c'est pour éviter la formation de fissures irrégulières que l'on scie volontairement les dalles de béton des autoroutes. Puisque le béton doit se fissurer, autant favoriser cette fissuration dans des joints que l'on protégera par la suite.

Comme presque tous les matériaux, le béton se dilate lorsqu'il se réchauffe et se contracte lorsqu'il se refroidit, et, phénomène intéressant, son coefficient de dilatation thermique est pratiquement le même que celui de l'acier, si bien que lorsque du béton armé se dilate ou se contracte, le béton et l'acier présentent les mêmes déformations, ce qui n'altère pas leur adhérence. C'est pour pallier à de telles variations dimensionnelles qu'il faut prévoir sur tous les tabliers de pont des joints de dilatation si désagréables pour les automobilistes. Une poutre de béton armé de 30 m de portée peut s'allonger ou se rétrécir de près de 10 mm lorsque sa température varie de 50°C.

Fluage ou déformation plastique différée

Notons enfin que comme tous les matériaux, le béton est sujet au phénomène de fluage, c'est-à-dire qu'il continue à se déformer lorsqu'il est soumis à un effort constant pendant une longue période. Ce phénomène est particulièrement important dans les ouvrages en béton pré ou postcontraint, car le béton se rétrécit sous l'effet des forces de compression exercées par les câbles d'acier. Étant donné que ces mêmes câbles d'acier s'allongent sous l'effet de la résistance à la compression du béton, au bout d'un certain temps, les contraintes de compression dans le béton et les contraintes de tension dans les câbles ont toutes deux diminué par rapport à leur valeur initiale.

Le toit du vélodrome olympique s'est affaissé par fluage, dû à son propre poids, de près de 150 mm durant la première année. Cet affaissement avait été calculé théoriquement et a pu être suivi dans le temps.

Le béton du présent

Le béton est un matériau bon marché de l'ordre de \$20 la tonne (\$45 le m³) ayant un contenu énergétique relativement faible. C'est un matériau versatile, sa résistance et sa consistance peuvent varier en modifiant sa composition comme l'article intitulé : « Les bétons spéciaux » nous l'expliquera. C'est un matériau qui peut être fabriqué à peu près n'importe où puisqu'il contient plus de 80% de matériaux locaux bon marché : eau, sable et pierre.

Le béton de l'an 2000

En 1971, l'American Concrete Institute créait un comité ad hoc avec pour sujet de réflexion, le béton de l'an 2000, « Concrete year 2000 »⁵. Même si ce genre d'exercice peut paraître futile, il n'en reste pas moins que les réflexions et les idées émises par les experts qui ont participé à ce comité peuvent nous éclairer sur l'évolution future de l'industrie du ciment et du béton, sans pour autant que toutes les prévisions et spéculations de ces experts se réalisent.

Le béton de l'an 2000 devrait être de bien meilleure qualité que le béton actuel, il sera mieux contrôlé, plus versatile encore, plus fiable, plus économique et plus esthétique si toutes les prévisions des experts se réalisent !

Le béton de l'an 2000 résistera mieux à la fissuration, sa résistance en tension sera nettement supérieure à ce qu'elle est de nos jours, ses gains de résistances seront plus rapides (on fabrique déjà des ciments à prise contrôlée qui durcissent au bout de 15 à 30 mn sans addition d'accélérateur), sa stabilité volumétrique se sera améliorée (on fabrique industriellement des ciments à retrait compensé), sa masse unitaire sera plus faible, sa résistance aux cycles de gel et de dégel et à l'usure se sera améliorée considérablement, sa chaleur d'hydratation et sa perméabilité auront considérablement diminué, ses propriétés isolantes auront augmenté (on sait déjà fabriquer des bétons mousses de faible densité ayant une résistance thermique égale à la moitié de celle du polystyrène expansé), etc.

Des granulats synthétiques légers et résistants seront de plus en plus utilisés ainsi que de nouveaux adjuvants qui permettront d'augmenter la résistance du béton, tout en diminuant son coût, en facilitant sa mise en place et en augmentant sa durabilité. On recyclera dans le ciment et le béton encore plus de rejets industriels tels que les cendres volantes, les laitiers de haut fourneau, les résidus miniers, etc.


Le béton de l'an 2000 pourra flotter sur l'eau (densité de 0,8) tout en ayant une résistance de 25 MPa, il pourra atteindre des résistances en compression de 150 MPa de façon courante (on a déjà produit à plusieurs reprises des bétons de chantier de 80 et 100 MPa), ou exceptionnellement de 400 MPa et plus (bétons imprégnés de résines polymérisées).

Les techniques de construction se seront, elles aussi, grandement améliorées, que ce soit lors de la mise en place, lors de la finition ou lors du mûrissement du béton. Les éléments de béton seront d'ailleurs de plus en plus préfabriqués en usine.

Les techniques de contrôle actuelles seront périmées. Il sera possible de prédire instantanément la résistance à long terme d'un béton frais, et les techniques d'inspection non destructives seront beaucoup plus fiables qu'à l'heure actuelle.

Avec de tels bétons, on pourra construire de façon compétitive des gratte-ciel de 100 étages (l'édifice du Water Tower Place à Chicago a déjà 74 étages), des ponts de 400 à 600 mètres de portée, des cités et des aéroports flottants, des autoroutes préfabriquées, etc.

Tous ces progrès se réaliseront grâce à des travaux de recherches, à des progrès techniques tant dans le domaine du design que dans le domaine de la construction et à une meilleure éducation de tous ceux qui, de près ou de loin, contribuent à la naissance d'une œuvre d'art en béton.

On peut donc affirmer, sans beaucoup se tromper, que si le béton a déjà un riche passé parmi les matériaux de construction, son avenir est encore très prometteur. 

BIBLIOGRAPHIE

1. NEVILLE, A.M., « *A Focus for the Concrete Industry in Canada* » Déc. 1973, Ministère fédéral de l'Industrie et du Commerce, page 6.
2. DURIEZ, M., ARRAMBIDE, J. « *Nouveau Traité de Matériaux de Construction* », 1962, Dunod Paris, Tome 11 page 176.
3. VENUAT, M., PAPADAKIS, M. « *Fabrication et Utilisation des Liants Hydrauliques* », page 30.
4. Portland Cement Association « *History of the Cement Business* » Skokie Ill. SS 176, page 2.
5. A.C.I. SP-52 « *A Selection of Historic American Papers on Concrete 1876-1926* », American Concrete Institute — Detroit, pp 3-40.
6. Association Canadienne du Ciment Portland EB 001-11T(F) « *Dosage et Contrôle des Mélanges de Béton* », pp 16-23.
7. DOUBLE D.D., HELLAWELL A. « *The Solidification of Cement* » Scientific American, Juillet 77, Vol. 237 No 1, pp 82-89.
8. VENUAT M. « *Adjuvants et Traitement des Mortiers et Bétons* » C.E.R.I.L.H., Paris, pp 94-95.
9. A.C.I. Journal — Concrete Year 2000 — Août 1971.



Les Laboratoires Industriels et Commerciaux Itée

1928-1978

● l'un des premiers laboratoires du Québec à oeuvrer dans le domaine du contrôle des matériaux de construction

● indépendant de toute firme de construction ou d'ingénieurs-conseils

50

ANS

**À LA POINTE DU PROGRÈS
DEPUIS 1928**

SERVICES OFFERTS:

- contrôle qualitatif: sols—béton—asphalte
- géotechnique
- analyses chimiques

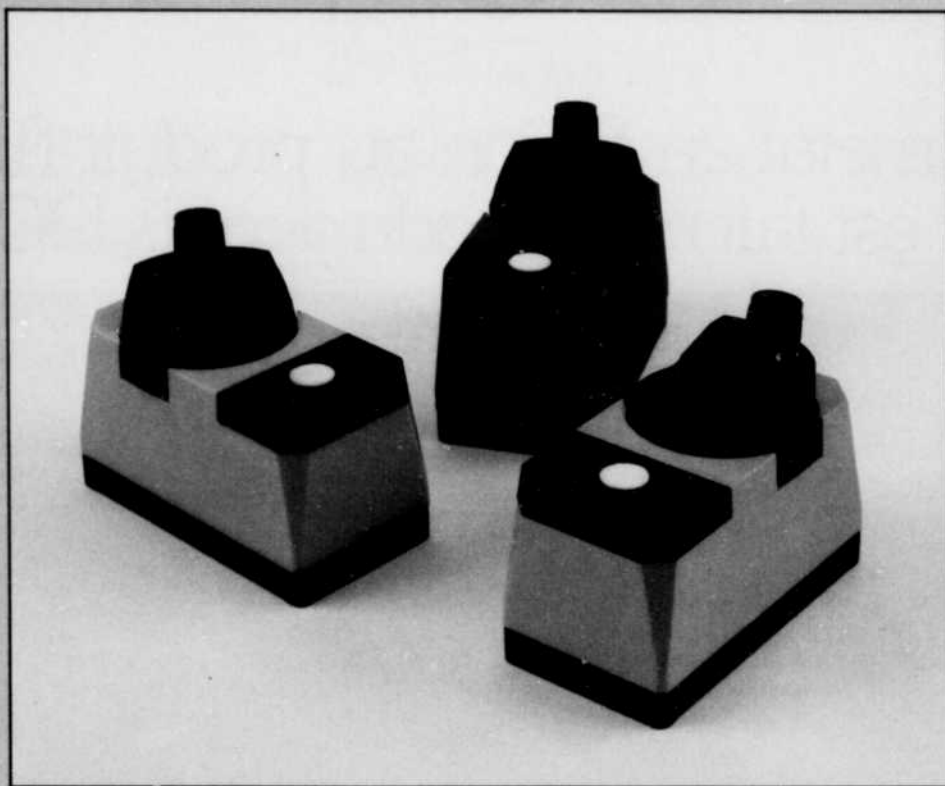
PERSONNEL PROFESSIONNEL:

M. Paul Hébert, ing., président
(Poly 67)
M. J.F. Mathys, ing., vice-président
(Poly 37)
M. Franz Collinge, ing., secrétaire-trésorier (Sherbrooke 66)

M. Charles Abikhzer, ing. (Poly 74)
M. Jean Duperval, ing. jr. (Poly 77)
M. Henri Trochu, M. Sc., chimiste
(Université de Montréal 34)
M. Paul Mitnyan (UQC 76)

190, Benjamin-Hudon, St-Laurent, Québec, Canada H4N 1H8
Tél.: (514) 336-5650

La fine pointe des aiguisoirs...



**...et un porte-mine gratuit
pour vous!**



Oui, nous sommes tellement convaincus que le nouvel aiguiseur Berol Turquoise 17 est le fin du fin en fait d'aiguisoirs que nous vous faisons une offre exceptionnelle: faites l'achat d'un aiguiseur et vous recevrez gratuitement un superbe porte-mine Turquoise 10S.

Nous savons à quel point il est important pour vous que les mines de vos instruments de travail soient toujours parfaitement propres et aiguisées. Le nouvel aiguiseur Turquoise a été spécialement conçu pour vous combler! Construit avec précision, il est fiable et robuste. Par exemple, sa couronne d'affûtage est constituée de 60 couteaux en acier traité thermiquement.

Son récupérateur de poussière conserve son

contenu de façon parfaitement étanche. Mais ce n'est pas tout.

Notez son essuie-mine qui nettoie les pointes. Ses guides interchangeable qui permettent de recevoir n'importe quel porte-mine. Sa pince pratique. Ses trois couleurs décorateurs. Et ses lignes contemporaines qui lui donnent si belle mine...

Le nouvel aiguiseur Berol Turquoise 17.

Achetez-en un et vous recevrez gratuitement un superbe porte-mine Turquoise 10S.

Tout ce que vous avez à faire, c'est d'envoyer le rabat de l'emballage de l'aiguiseur (celui qui porte le nom de la couleur) ainsi que vos nom et adresse à:

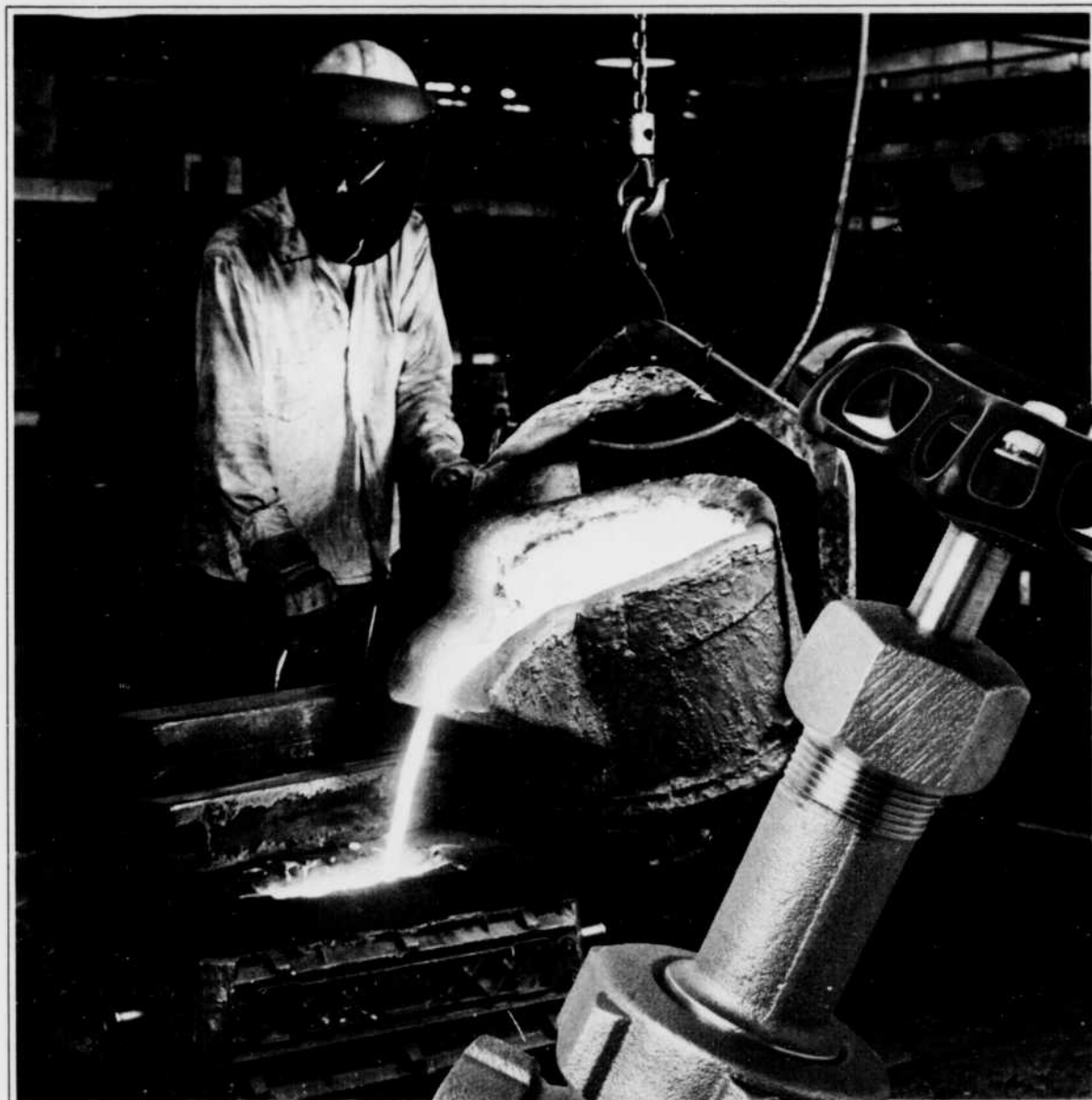
Berol Limitée, C.P. 310, St-Lambert, Québec J4T 3P8

Cette offre se termine le 31 décembre 1978.

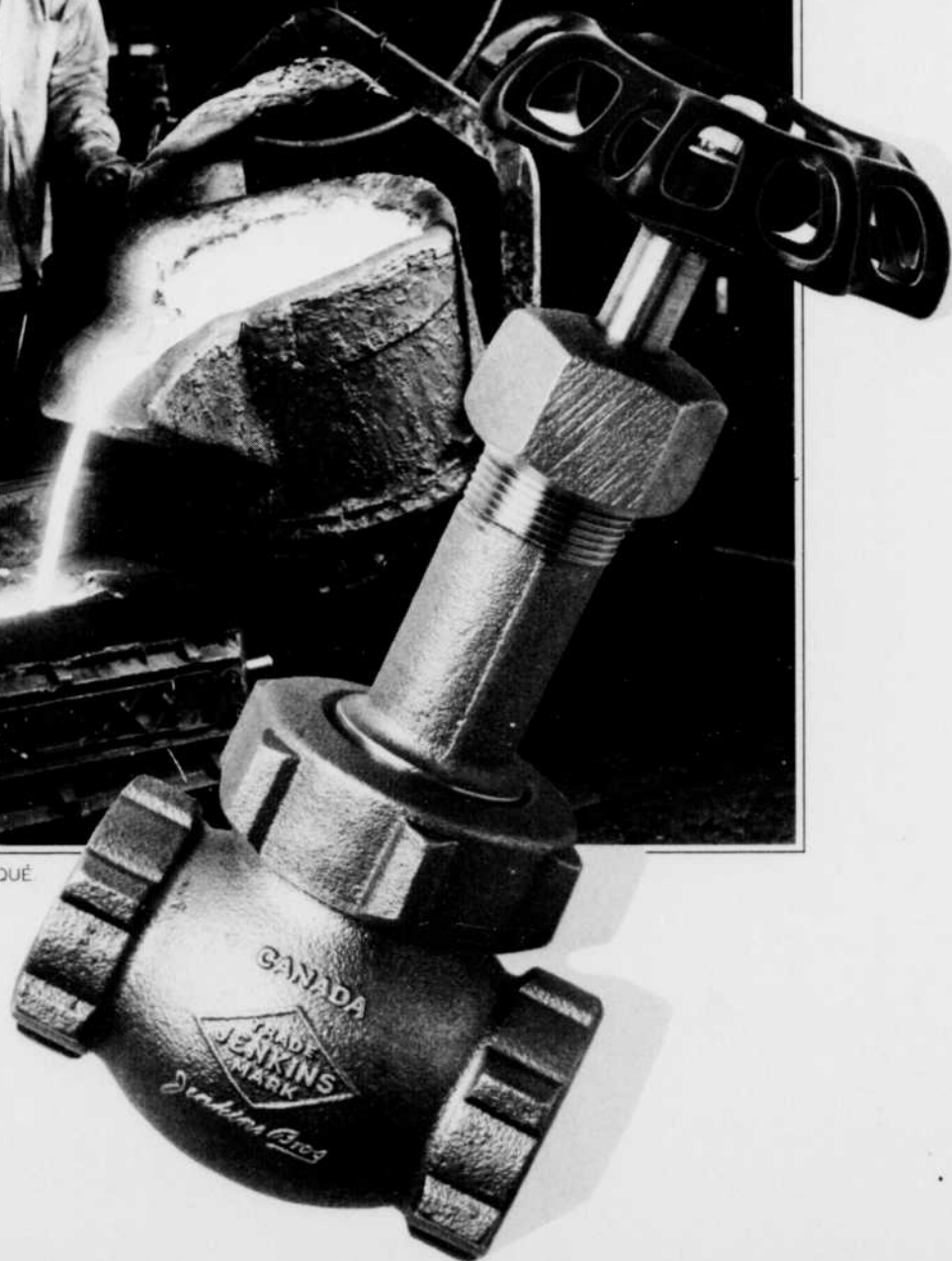
Berol® Turquoise®



Du métal en fusion au produit fini
tout est fait au Canada depuis 1908



JENKINS BROS. LIMITED, LACHINE, QUÉ



ÉVOLUTION DU DESIGN EN BÉTON

par Jules Houde, Ph.D., ing. *

Sommaire

Plus d'un siècle de développements a permis de voir la résistance du béton passer de 14 à 50 MPa. Un meilleur contrôle des matériaux justifie des facteurs de sécurité de l'ordre de 1.5. Les ennuis causés par la faible résistance à la traction du béton disparaissent avec l'usage de la précontrainte qui permet des réalisations spectaculaires.

Développement du béton non armé 1824-1860

Utilisés par les Romains, les liants hydrauliques n'ont guère évolué pendant des siècles car personne ne pouvait expliquer les raisons de la supériorité des mortiers pouzzolaniques (de Pouzzo, près du Vésuve) sur les mortiers de chaux. Avec l'avènement de la chimie, Vicat a pu établir (1834) que les propriétés hydrauliques étaient fournies par la combinaison de chaux, silice et alumine obtenue en cuisant un mélange de pierre à chaux et d'argile. En 1824, Joseph Aspdin avait obtenu en Angleterre un brevet pour un ciment hydraulique qu'il appela Portland à cause de sa couleur voisine de celle des calcaires de l'île du même nom.

Les caractéristiques importantes de cette « pierre reconstituée » qu'on pouvait obtenir incitèrent les ingénieurs anglais à utiliser le béton pour construire des tunnels sous la Tamise (1828)¹ et refaire les égouts de Londres (1858). Le développement de l'industrie du ciment se poursuivit à Boulogne sur Mer en France (1840), en Allemagne (1852), aux États-Unis (1870). Au Canada, la première usine de ciment portland fut construite à Hull, Province de Québec (1889).

L'auteur :

M. Jules Houde est professeur titulaire et chef de la section Structures à l'École Polytechnique de Montréal. Ses principaux domaines d'intérêt sont reliés au calcul des structures et aux problèmes d'utilisation des matériaux.

L'INGÉNIEUR

Malgré sa grande utilisation à cette époque (1830-1860) comme matériau de fondation, le béton n'avait pas la résistance à la traction pour servir dans d'autres types de construction. Cette période est marquée toutefois par de nombreuses tentatives d'utilisation de l'acier ou du fer pour résister aux tractions. Déjà en 1832, Sir Marc Isambard Brunel, en perçant le tunnel sous la Tamise, avait incorporé des cercles de fer au béton. Il avait même mesuré l'adhérence fer-béton par des essais d'arrachement : la contrainte d'adhérence mesurée : 16 à 25 lb/po² (110 à 172 Kpa).

Parallèlement à ces balbutiements du béton armé, on assiste à cette époque au remplacement accéléré des structures de bois (édifices et ponts) par des constructions en fonte ou en fer forgé. L'analyse théorique des structures² avait déjà fait de grands progrès et le calcul des arcs, confirmé par des essais sur modèles, avait été exposé par Coulomb (1736-1806). Le premier pont en arc fait de fonte avait été construit en Angleterre en 1779 avec une portée de 100 pieds (32.8 m) et une ouverture de 50 pieds (16.4 m). Les connaissances théoriques enseignées dans les écoles d'ingénieurs, surtout en France et en Allemagne, étaient tirées de traités signés par des noms célèbres comme Navier, Bresse, Culmann et Humber^{3,4,5,6}.

Culmann avait introduit la méthode du centre élastique pour les arcs encastrés et démontré que les trois inconnues se calculaient à partir des équations de compatibilité avec une seule inconnue par équation.

Ces connaissances des calculs permirent la construction d'un premier pont en arc en béton non armé de 13.5 m (45 pi) de portée, en 1840, sur le canal de Garonne à Grisolles.

Développement du béton armé

Période artisanale (1860-1900)

Même si, en 1854, Lambot expose à Paris une barque en béton armé, pour laquelle il reçoit un brevet, et que François Coignet publie un traité sur le béton armé en 1861, on semble d'accord pour attribuer la naissance du béton armé à Joseph Monier. Ce dernier détecta rapidement le potentiel de ce nouveau matériau et prit

des brevets pour des pots de fleurs et des baignoires armées avec un treillis de fer en 1867 : il prit par la suite des brevets pour des réservoirs et des tuyaux (1868), des planchers dalles (1869), des ponts (1873) et des escaliers (1875). Apparemment, Monier n'avait aucune connaissance quantitative du comportement du béton armé ni aucune méthode de calcul. Par intuition, il posait ses fers en suivant le contour des pièces, ce qui les renforçait.

Ses connaissances d'affaires étaient beaucoup plus précises et il obtint en Allemagne des brevets pour à peu près tous les éléments possibles. Ses brevets furent vendus à la firme allemande G.A. Wayss (1885) qui les exporta dans plusieurs pays.

Aux États-Unis, W.E. Ward semble être le premier à avoir eu l'idée de combiner fer et béton pour construire des poutres et des planchers. Il entreprit, en 1872, la construction d'une maison tout en béton et publia cette expérience en 1882 dans les « Transactions of the American Society of Mechanical Engineers ». Avant de construire la maison il fabriqua une poutre en béton de 5 po × 12 po (12 cm × 30 cm) armé d'un fer I de 4 po, de 10 lb/pi (10 cm, 15 kg/m).

Le fer I seul, en portée simple, avait une charge utile de 1 150 livres (5.1 KN) alors que la poutre en béton armé portait une charge centrale de 9 500 livres (42.2 KN) avec une flèche de 7/16 po (1.1 cm) : au déchargement, on ne constata aucune flèche résiduelle. En se basant sur ces observations, Ward construisit sa maison avec des poutres atteignant 18 pi (5.5 m) de longueur : la dalle de 3 po (7.6 cm) était armée de ronds de 5/16 po (8mm).

Afin d'améliorer l'adhérence des barres, E. Ransome, constructeur, utilisa des barres carrées vrillées à froid, malgré les objections des scientifiques du temps qui craignaient la fragilisation. On constata plutôt une augmentation de la limite de proportionnalité.

Cette période vit peu de publications car les constructeurs et ingénieurs impliqués dans le domaine considéraient leurs méthodes de calculs et de constructions comme des secrets du métier.

Réglementation (1900-1915)

Même si la règle du silence semblait d'or, quelques précurseurs voulurent communiquer les résultats de leurs études permettant de prédire la grandeur des contraintes dans l'acier et dans le béton. Ainsi, à la suite de Ways et Koenen en Allemagne, N. de Tedesco et E. Coignet présentèrent, en 1894, un rapport à la Société des Ingénieurs Civils (de France) sur le comportement des poutres. Leur proposition qui a été utilisée pendant plus de 60 ans, jusqu'à l'introduction des calculs à la rupture, négligeait la résistance à la traction du béton et incluait une variation linéaire des contraintes de compression.

D'autres éléments firent l'objet d'essais, entre autres par Bauschinger 1887, Bach 1895, Considère 1902 (à qui on doit les colonnes à spirales), Talbot (1904) et Whitey (1906). Ces nombreuses expériences permirent de confirmer les hypothèses, de découvrir de nouvelles lois et de déterminer les constantes de calcul.

Ces séries d'essais permirent aux sociétés techniques telle la NACU aux États-Unis (1907) et aux ministères de l'Industrie en France et en Allemagne (1904-1906) de publier des codes et règles de calculs.

Monolithisme du béton armé

À cette époque, 1890-1910, tous traitaient le béton armé en suivant les méthodes utilisées dans les constructions d'acier : les dalles étaient simplement appuyées sur les poutres qui étaient aussi simplement appuyées sur les poteaux.

On réalisa rapidement les avantages de continuité que fournissait ce nouveau matériau. En relevant les aciers tendus à la plage supérieure des poutres au droit des colonnes, on obtenait facilement des poutres continues. Les moments à résister étaient promptement calculés à l'aide du théorème des trois moments de Clapeyron (1849). Divers systèmes de ferrailage, comprenant des étriers, firent l'objet de brevets. Le principal brevet appartenait à François Hennibique à qui l'on doit les colonnes à ligatures.

L'année 1911 vit l'apparition des planchers-dalles dans lesquels les poutres sont confondues avec la dalle : pour éviter le poinçonnement, on élargit la tête des colonnes avec des chapiteaux et on ajouta des ressauts. Ces nouveaux procédés de construction défiaient toutes les méthodes analytiques, et force fut de recourir à des essais de chargements qui étaient exigés par les autorités municipales pour accepter ces constructions. Les coefficients de sécurité de ces constructions s'élevaient de 2.7 à 3.5. Cette technique d'évaluation était très utilisée comme en témoignent les quinze rapports et essais publiés dans la littérature américaine, entre 1910 et 1918. Il va sans dire que tous ces systèmes de planchers-dalles étaient brevetés, ce qui entraîna des poursuites célèbres (entre autres entre NORCROSS et C.A.P. Turner). Les brevets portaient principalement sur le sens des armatures, parallèles ou en diagonales avec les axes de colonnes, et sur la quantité relative d'acier dans les bandes des panneaux.

Les analyses mathématiques furent loin d'être acceptées jusqu'à ce que Westergaard présente ses résultats en 1921. L'unanimité sembla se faire et ses coefficients de calculs furent repris par le Code ACI de 1925 et le premier code canadien de béton armé publié en 1929⁷ par la « Canadian Engineering Standards Association ».

Malgré la popularité du plancher-dalle pour certains types d'édifices, un grand nombre de bâtiments furent construits avec des cadres en béton armé ayant des marges de sécurité très élevées, à cause des faibles moyens d'analyse disponibles. La première méthode de distribution de moments, basée sur le calcul de changement d'angles aux noeuds, fut proposée en 1923 par Chalishev alors assistant de Timoshenko à l'Université de Zagreb.

Hardy Cross⁸ mit au point, en 1930, un processus numérique qui évitait le calcul des rotations et qui convergait très rapidement vers la solution. Cette mé-

thode de calcul fut pendant 35 ans la méthode d'analyse qui permit au béton armé de prendre l'essor qu'on lui connaît.

Réglementation 1916-1978

Au fur et à mesure que les résultats d'essais confirmaient les hypothèses de calculs, les sociétés techniques telle « l'American Concrete Institute » formulèrent des règles de design consignées dans des rapports techniques et dans les codes.

Ces codes du début du siècle, comme ceux que nous connaissons maintenant, sont en quelque sorte le reflet du statut de l'art à une époque donnée. Ainsi, ce n'est que tout récemment que les codes nord-américains traitent de la torsion en béton armé car précédemment, on contournait ou évitait ce problème comme on le verra plus loin.

Les coefficients et les constantes qu'on trouve dans les codes sont tirés d'essais réalisés sur des pièces de taille courante : les effets d'échelles peuvent parfois être oubliés. La formulation utilisée peut aussi mettre

l'emphase sur un paramètre alors que les résultats d'essais soulignent l'influence aussi importante d'un deuxième ou même de plusieurs autres paramètres. Ce genre d'oubli, comme on le verra à la section cisaillement, a fortement ébranlé les codes nord-américains du début des années 1950.

Le tableau I reflète les étapes importantes de l'évolution du code ACI et canadien de 1916 à 1978.

Suite à une première publication par la NACU en 1907, qui ne contenait aucune formule de calculs, l'ACI publia en 1916 un code sous la forme utilisée aujourd'hui⁹. Depuis 1916, ces codes ont été révisés à plusieurs reprises et le tableau I ne relève que les principaux changements. Jusqu'en 1956, les codes nord-américains ont utilisé la méthode de calculs basée sur les efforts permis. On constate une augmentation progressive de la qualité des matériaux et du niveau d'effort permis ; parallèlement les codes ont introduit des facteurs de correction importants pour refléter le comportement linéaire du béton sous charge transitoire et pour tenir compte des effets de fluage comme le montre la figure 1.

TABLEAU I						
Évolution des codes nord-américains						
ORGANISMES PÉRIODE		NACU-ACI (1907-1913)	ACI 1916	ACI-CSA 1925-1929	ACI-CSA 1951-1956	ACI-CSA 1973-1977
<u>Qualité usuelle des matériaux</u>						
- Béton, f_c'	lb/po ² (Mpa)	2000 (13.8)	3000 (20.7)	3000 (20.7)	3750 (25.9)	3000-8000 (20.7-55.1)
- Acier, f_y	kip/po ² (Mpa)	33 (228)	33-40 (228-276)	33-40 (228-276)	33-50 (228-345)	40-80 (276-551)
			Efforts permis maximum sous charges de service			Calculs à la rupture
<u>Dans le béton</u>						
- Colonnes		500 lb/po ² (3.44 Mpa)	$0.25 f_c'$	$0.25 f_c'$	$0.18 \text{ à } 0.225 f_c'$	$0.85 f_c'$
- Fibre comprimée par flexion		800 lb/po ² (5.5 Mpa)	$0.38 f_c'$	$0.40 f_c'$	$0.45 f_c'$	$0.85 f_c'$
- Cisaillement		30 lb/po ² (0.2 Mpa)	$0.02 f_c'$	$0.03 f_c'$	$0.03 f_c'$	$1.9 \text{ à } 3.5 \sqrt{f_c'}$ (lb/po ²)
- Adhérence Barres crénelées		-	$0.05 f_c'$	$0.06 f_c'$	$0.07 \text{ à } 0.10 f_c'$	$L_d = 0.04$ $Ab f_y /$ $\sqrt{f_c'} \text{ (po)}$
<u>Dans les aciers</u>						
- De flexion	kip/po ² (Mpa)	20 (137)	20 (137)	20 (137)	20 (137)	80 (550)
- De cisaillement	kip/po ² (Mpa)	14 (96)	16 (110)	16 (110)	20 (138)	60 (413)
<u>Capacité ultime</u>		4 à 6 (P+S) (Env.)	4 (P+S) (Env.)	3 (P+S) (Env.)	1.2 P + 2.4 S	1.4 P + 1.7 S

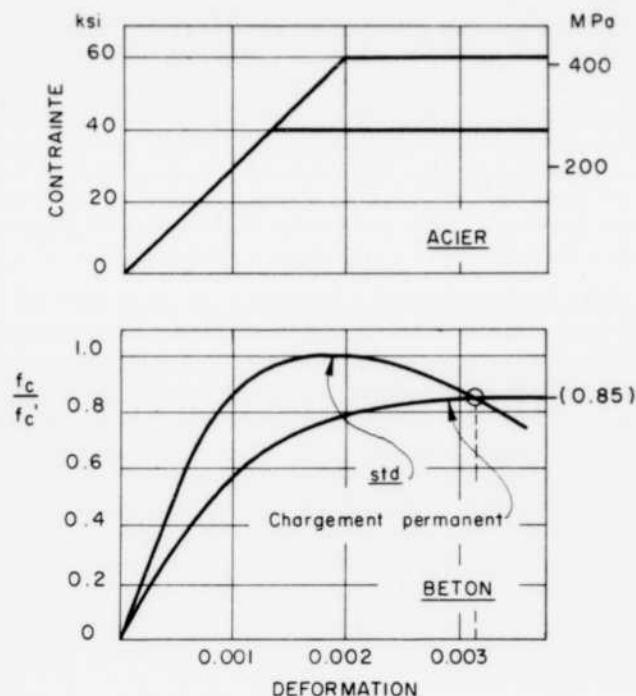


Figure 1 – Courbes effort-déformation.

Déjà dans les années 1900, W. Ritter et A.M. Talbot avaient souligné l'importance d'utiliser les courbes réelles effort-déformation des deux matériaux pour évaluer correctement la capacité des pièces en béton armé.

Pour des raisons de simplicité, les théories utilisées par les codes étaient basées sur un comportement élastique. Les déviations constatées entre le calcul et les essais amenèrent la Russie à adopter la méthode de calcul à la rupture dès 1938. Aux États-Unis, suite à la série classique d'essais sur colonnes aux universités Lehigh et Illinois (1930), on modifia partiellement le code de 1951.

Constatant que les pièces fléchies calculées élastiquement avaient un rapport résistance/charge de service atteignant parfois 3.0, on réalisa après l'analyse de centaines d'essais qu'on pouvait, sans danger, réduire ce coefficient de sécurité et le code ACI-1956 proposa, comme méthode substitut, le calcul à la rupture. Cette méthode, adoptée progressivement par les bureaux d'études, est le fondement même des codes actuels.

Cisaillement

Au début du béton armé (1870-1890), les étriers étaient vus comme des boulons resserrant des lamelles horizontales, comme on le ferait pour des poutres faites de planches de bois. Le béton étant faible en cisaillement horizontal, il fallait ajouter des « clés de cisaillement ».

Ritter (1899) et Mörsch (1904) démontrèrent que les efforts de cisaillement causaient une contrainte principale de traction oblique qui pouvait facilement excéder la faible résistance à la traction du béton.

Pour résister à cette tension diagonale, Mörsch utilisa l'analogie du treillis : « Les aciers de traction et la plage comprimée forment les cordes du treillis ; les étriers ou les barres inclinées jouent le rôle de diagonales tendues et le béton d'âme sert de bielles ou de diagonales comprimées ».

La contrainte principale peut être évaluée indirectement en calculant le cisaillement moyen sur toute la section. Talbot (1909) essaya 104 poutres et démontra que **trois (3) paramètres** principaux contrôlaient la résistance au cisaillement.

- La qualité du béton, exprimée par sa résistance à la compression, f_c' .
- L'élançement de la plage cisailée, exprimé par le rapport a/d (figure 2a).
- Le pourcentage d'acier de traction longitudinal, « p ».

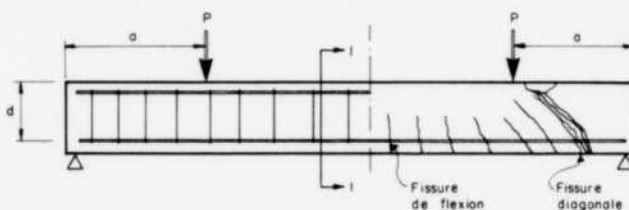


Figure 2a – Poutre soumise à des charges de cisaillement.

Les rédacteurs du code ACI 1916 ne retinrent **qu'un paramètre**, probablement celui qui leur apparaissait dominant, et le cisaillement moyen permis « v » fut pris égal à $2\% f_c'$.

Les codes nord-américains subséquents continuèrent sur la même lancée en augmentant la valeur à $3\% f_c'$ en 1925 ; ce qui fut répété dans le code ACI 1951.

Pendant toute cette période, dans les codes nord-américains, la capacité totale au cisaillement fut prise égale à la somme de la capacité du béton et de la capacité des étriers. Les codes européens, allemands en particulier, avaient des niveaux de contrainte permise dans le béton à peu près semblables, avec les restrictions importantes suivantes :

- lorsque l'effort dans le béton dépasse un certain seuil, **tout** le cisaillement doit être repris par les armatures d'âme ;
- on doit utiliser toujours un minimum d'étriers.

En 1955, on constata aux États-Unis une série de défaillances et même d'effondrements dans des poutres de grande portée, en particulier celles des entrepôts de la Base Wilkins à Shelby, Ohio. Un point troublant apparut lors des investigations : ces constructions étaient en tous points conformes aux devis et au code ACI 1951 ; de plus, certaines de ces poutres avaient des aciers continus à leur partie supérieure et une quantité nominale d'étriers sur toute leur longueur.

Devant l'urgence de la situation, le code ACI fut amendé (1956) et on ajouta à la clause de $3\% f_c'$ de ci-

saillement permis une valeur maximale de 90 lb/po² (620 kpa). On imposa de plus que les armatures d'âme résistent aux $\frac{2}{3}$ du cisaillement total dans certaines zones critiques. Ces modifications se voulaient temporaires jusqu'à ce qu'une connaissance plus approfondie du cisaillement et de la tension diagonale soit acquise.

L'analyse des plus récents essais faits par A.P. Clark (1950) et par l'Université d'Illinois fit réapparaître l'importance des *deux paramètres « oubliés »* : l'élanement de la plage cisailée a/d (ou son équivalent M/Vd) et le pourcentage d'acier « p ». Un modèle mathématique basé sur le concept des contraintes principales fut développé en utilisant les résultats d'essais de 440 poutres.

La contrainte maximale en cisaillement du béton sans armatures d'âme devint :

$$v_c = 1.9\sqrt{f'_c} + 2500 p Vd/M < 3.5\sqrt{f'_c} \text{ (lb/po}^2\text{)}$$

$$v_c = 0.16\sqrt{f'_c} + 17 p Vd/M < 0.29\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

En plus de formuler ces nouvelles équations, le code imposa des exigences supplémentaires sur les minima d'étriers à utiliser. L'ensemble de ces redressements semble avoir fourni aux constructions la marge de sécurité requise car depuis 1966 la littérature technique n'a pas signalé de mésaventures semblables à celles de 1955.

Torsion

Les prescriptions des codes récents sur la torsion illustrent bien leur adaptabilité aux exigences courantes des constructeurs et des ingénieurs. Jusqu'à une époque assez récente, des sollicitations de torsion importantes se rencontraient assez rarement dans les constructions en béton armé ou précontraint. Il semble même que la conception des ouvrages était faite pour éviter ce problème : ce n'est plus le cas aujourd'hui, et on trouve un bon nombre d'exemples de constructions dont l'équilibre suppose la résistance à des efforts de torsion considérables.

Les schémas montrés à la figure 3 illustrent les sections couramment utilisées pour les ponts. Des efforts de torsion importants sont créés par l'excentricité des charges ou par la forme du pont ou par son enlèvement. On n'hésite plus à sortir des enlèvements droits pour s'adapter aux courbures requises par les exigences du terrain ou du trafic.

Les sections en caisson de la figure 3 peuvent être préfabriquées en usine et assemblées à pied d'œuvre à l'aide de câbles de précontrainte. Dans d'autres circonstances, ces vousoirs sont coulés sur place à l'aide d'équipages mobiles. Cette dernière technique a été utilisée récemment au pont de Grand-Mère et a permis de réaliser une travée centrale de 595 pi (181.4 m)*.

* M. V. Verganelakis traitera en détail de ce pont dans un article à paraître dans L'INGÉNIEUR - publication novembre/décembre 1978.

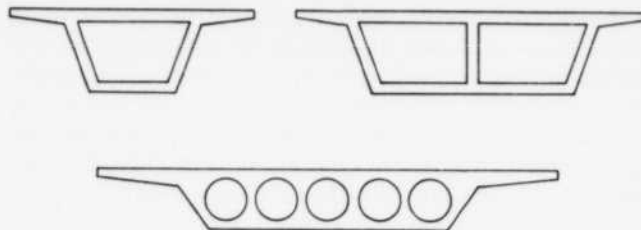


Figure 3 - Sections en caisson pour ponts.

On retrouve dans les codes deux façons de dériver la résistance à la torsion des pièces en béton armé. Le code ACI se base sur la théorie de la flexion biaise initiée par l'École Russe et reprise par M. Hsu¹⁰ aux laboratoires de la « Portland Cement Association ».

Le code canadien utilise des relations dérivées à l'aide de la théorie des tubes fermés à paroi mince : un anneau de béton armé (imaginaire pour les pièces pleines) contenant les cerces ou cadres simule la paroi mince. Le comportement des sections est évalué à l'aide de l'analogie du treillis dans l'espace. La mise au point de cette méthode a été principalement réussie par Collins, Lampert et Mitchell¹¹ de l'Université de Toronto.

L'importance des pièces faisant appel à la résistance à la torsion est telle que les résultats de calculs par l'une ou l'autre théorie sont de plus en plus fréquemment vérifiés par essais sur modèles. Soulignons à ce sujet les essais récents du professeur Scordelis¹² sur des modèles de pont courbe en caisson, à l'échelle 1 : 2.82. Cette grande échelle a été utilisée pour éviter des problèmes sérieux de modélisation : adhérence, taille des agrégats, etc. Ce modèle à deux travées avait une taille imposante : 72 pi (21 m) de long, 12 pi (3.7 m) de large et 2 pi (0.60 m) d'épaisseur.

L'intérêt pour la résistance ultime des pièces soumises à la torsion a fait soulever la question de torsion de compatibilité, inévitable dans les structures monolithiques. La poutre de rive, par exemple, doit avoir une déformation angulaire égale à la rotation de la poutre qui s'y encastre. Les essais ayant montré la chute rapide de rigidité de torsion après fissuration, on doit s'interroger sur le comportement de ces ensembles entre la charge de service et la charge de rupture si l'on veut chiffrer les marges de sécurité pour toutes les sollicitations.

Lorsque le calcul à la rupture a commencé à se développer, les directives du code étaient bien minces comme le laissent voir les quelques lignes du code ACI 1963 sur le ferrailage de torsion : « Dans les poutres de rive, les étriers seront du type fermé et on placera au moins une barre dans chaque coin de la poutre ; ces barres seront aussi grosses que les étriers et pas moindres que 0.5 po (12.7 mm) ».

Dix ans plus tard (Code ACNOR '73), et encore maintenant, la question ne semble pas plus éclaircie lorsqu'on lit la clause 9.8.2.b. de ce code :

« Lorsqu'une membrure subit une torsion de compatibilité, on devra fournir le minimum d'acier de

torsion... excepté pour les membrures pour lesquelles on sait que les effets de torsion peuvent être négligés.»

Le code ne fournit aucune méthode permettant de s'assurer si les effets de torsion sont négligeables ou non ; c'est à chaque concepteur d'interpréter les quelques résultats d'essais disponibles. De même façon, le code actuel ne fournit aucune indication sur l'organisation structurale des jonctions de ces pièces. Ce sont là deux domaines d'études que le laboratoire de Structures de l'École Polytechnique de Montréal a commencé à explorer.

Béton précontraint

Les développements de la construction en béton armé ont été très rapides. Dans une période de cinquante ans elle a atteint un haut niveau de qualité et est utilisée dans la plupart des grands travaux.

Dans le cas de construction à grande portée, toutefois, le succès du béton armé a été limité dès le début ; les raisons étant les suivantes :

- 1) l'effet du poids propre (P) de la structure augmente avec le carré de la portée ; l'efficacité économique du béton armé chute rapidement pour les grandes portées ;
- 2) dans les pièces fléchies, le béton armé n'est pas utilisé efficacement. Comme on le voit (figure 2b) par la distribution de contraintes, la force de compression n'est fournie que par $\frac{1}{3}$ de la profondeur, environ ; l'efficacité de ce triangle de contrainte est proportionnelle à seulement le $\frac{1}{6}$ de la profondeur. Le béton sous l'axe neutre ne sert qu'à augmenter le bras de levier des aciers tendus. Le poids de ce béton, peu efficace, est d'au moins 30% du poids total ;

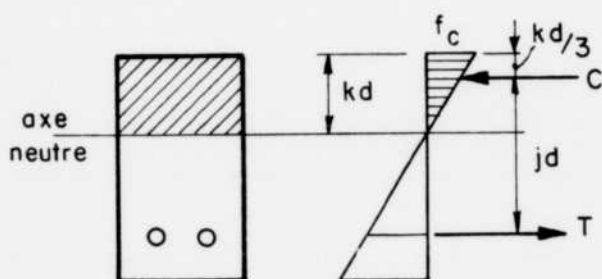


Figure 2b - Section résistante d'une poutre en béton armé.

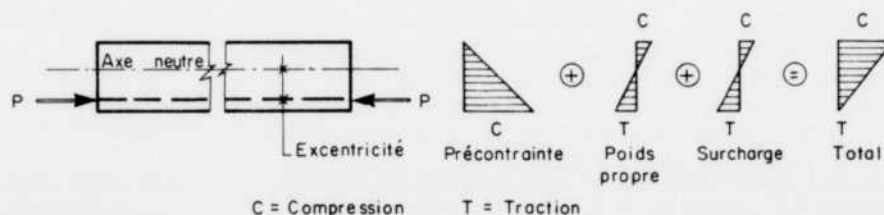


Figure 4 - Contraintes induites dans une poutre par la précontrainte.

- 3) le niveau de contrainte des aciers tendus doit être limité pour éviter une fissuration excessive dommageable pour ceux-ci ; l'usage d'acier à très haute résistance (100 ksi - 690 MPa) dans le béton armé conventionnel ne peut entraîner de grandes économies.

L'idée de compenser la faible capacité à la traction du béton en l'obligeant à travailler en compression sous l'effet d'une force de précontrainte fut proposée dès 1890.

Aucun développement appréciable ne fut constaté avant les travaux de F. Van Emperger (1928) en Autriche et de l'américain R.D. Dill (1928) car les contraintes créées par les aciers de précontrainte disponibles (10 ksi - 68.8 MPa) étaient effacées par le retrait et le fluage du béton.

On considère que le développement actuel du béton précontraint est principalement dû à E. Fressynet qui, en 1928, réalisa une précontrainte avec aciers à haute résistance.

L'application d'une telle précontrainte, telle que montrée à la figure 4, permet de soumettre toute la section en service à de la compression ; l'efficacité de la section est donc triplée.

Le développement de cette technique en Europe s'appuya sur cette économie de matériaux que favorisait le rapport élevé : coût de matériaux à coût de main-d'œuvre. Un rapport inverse en Amérique retarda l'utilisation de cette technique jusqu'en 1949-1950 où l'on vit construire le premier pont précontraint, à Philadelphie, avec des travées de 74 pi - 160 pi - 74 pi (22.5 m - 48.8 m - 22.5 m). Les « diktat » du marché régissent parfois plus qu'on ne le souhaiterait les succès des bonnes idées. La guerre de Corée, par exemple, engendra une pénurie importante d'acier. Les concepteurs du stade de Sherbrooke (1952) optèrent alors pour ce système, nouveau en Amérique. La solution en béton précontraint permit une économie de 75% d'acier et de 35% de béton¹³.

La coupe (figure 5) montre un des trente cadres formés d'une colonne articulée à son pied et liaisonnée aux poutres soutenant les gradins pouvant accueillir 4 000 spectateurs ; le cantilever de 3 tonnes est relié à la colonne par des câbles de précontrainte.

La qualité des matériaux, béton de 5 000 lb/po² (34.5 MPa), acier de 200 kip/po² (1375 MPa) est à peine inférieure à celle que l'on connaît aujourd'hui. Considérant la nouveauté du procédé et la philosophie

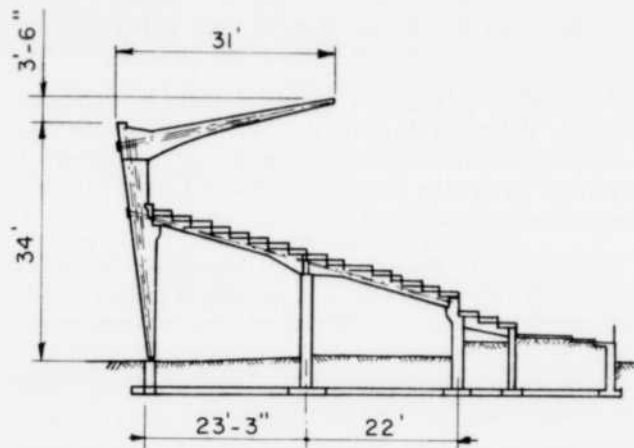


Figure 5 – Coupe du stade de Sherbrooke (Québec) 1952.

spéciale de ce type de construction, cette réussite mérite un souligné important car elle lançait au Québec une technique qui a permis la réalisation d'ouvrages exceptionnels tels : le pont Champlain, l'Autostade, Habitat '67 et finalement les installations du Parc Olympique de Montréal.

Ces dernières ont été réalisées grâce à la mise au point de la construction par voussoirs à joints conjugués qui permet un assemblage parfait des éléments préfabriqués. Ces derniers sont amenés en place à l'aide de grues géantes, enduits de colle et serrés sur la partie construite par des câbles de précontrainte. La coupe de la figure 6 montre la série d'éléments formant le poteau et les consoles d'un cadre type du stade olympique. Certains de ces éléments ont un poids atteignant 150 tonnes. Le gigantisme de cet ouvrage se devine sur la photo (figure 7) donnant une vue du chantier pendant l'érection des consoles.

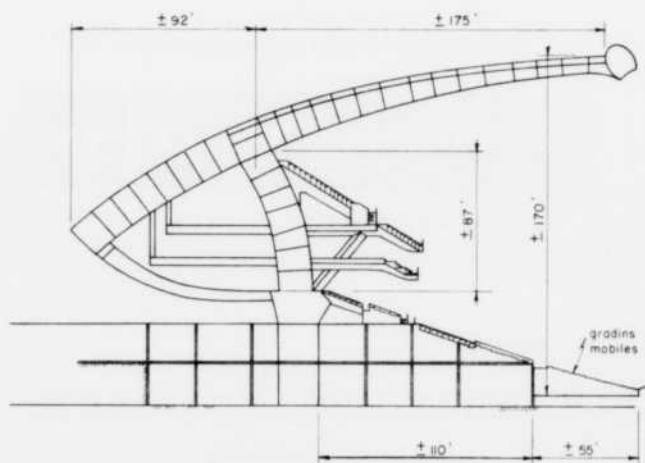


Figure 6 – Coupe du Stade Olympique de Montréal.

Non moins impressionnante fut la construction du vélodrome. Cette coupole surbaissée, posée sur quatre pieds, a été conçue avec quatre arcs constitués de voussoirs préfabriqués, positionnés sur des tours-étais et assemblés par précontrainte. Une série de poutres en Y (résilles) portant lanternaux translucides relient les arcs

entre eux pour former une coupole lumineuse (figure 8), facilitant les reportages de télévision-couleur. La légèreté apparente de l'ouvrage masque les problèmes de résistance que pose le poids (28 000 tonnes) qui exerce sur les quatre butées des poussées variant de 8 000 à 27 000 tonnes. La surface ainsi couverte sans appui intermédiaire est de 145 000 pi² (13 500 m²).

La technique du béton précontraint s'est implantée dans tous les secteurs de la construction, du bâtiment aux plus grands travaux de génie civil. Trois exemples récents dans ce dernier domaine illustrent la versatilité d'applications possibles :

1) Ile Réservoir Ekofisk

C'est un réservoir flottant fabriqué en cale sèche, toué à 300 km des côtes de la Norvège dans la Mer du Nord et échoué. Le réservoir a 312 pi (95 m) de diamètre et 295 pi (90 m) de hauteur ; il peut contenir 160 000 m³ de pétrole. Sa paroi de protection trouée (système Jarland) permet de résister à des vagues de 66 pi (20 m). Une précontrainte efficace assure la résistance de ce mur et l'étanchéité des réservoirs.



Figure 7 – Chantier olympique ; mât et consoles.

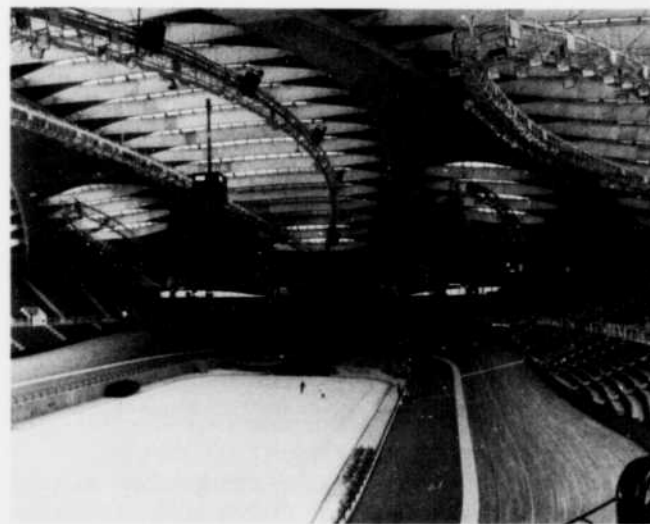


Figure 8 – Vue intérieure du Vélodrome de Montréal ; patinoire et piste cycliste.

2) La Tour CN à Toronto

Cette tour effilée de 1 500 pi (450 m) au-dessus du sol est la plus haute tour du monde ; 765 tonnes d'acier de précontrainte assurent que les murs ne subissent aucune traction sous l'effet des charges de service.

3) Le pont Haubanné de Bretonne

Dans la construction des ponts sur rivière, les difficultés de fouilles et la largeur de la rivière dictent le type de pont à construire. Il est maintenant établi que les ponts haubannés sont les plus économiques pour des travées allant de 800 à 1 300 pi (250 à 400 m). Jusqu'à maintenant, le tablier et le caisson de ce type de pont étaient faits d'acier, (exemple le pont Papineau-Leblanc à Montréal avec une travée centrale de 785 pi (240 m).

Le perfectionnement de la construction par encorbellement à partir des appuis a permis la construction de ce pont record en béton précontraint sur la Seine, en aval de Rouen. Le pont d'une longueur totale de 0.77 mille (1.28 km) comporte des viaducs d'accès de 540 pi (165 m) et 1660 pi (507 m) ; l'ouvrage principal, porté par deux pylones, a trois travées haubannées de 476 pi - 1065 pi - 476 pi (143 m - 320 m - 143 m).

Perspectives d'avenir

Le développement de la technologie du matériau béton se poursuit de façon constante et permet d'assurer aujourd'hui des résistances à la compression de 6 000 à 8 000 lb/po² (41-55 MPa). Elle permet même de fluidifier de façon temporaire ces mélanges à l'aide de superplastifiants pour les mouler dans des formes compliquées et encombrées par le ferrailage. Cette augmentation de résistance ira sûrement en s'accroissant. Elle sera accompagnée de méthodes pour assurer la durabilité des couverts de béton qui protègent l'acier. Les récentes utilisations d'imprégnation de surfaces de pont à l'aide de monomère permettent de garnir les surfaces exposées d'une croûte résistante et très imperméable. Cette augmentation de résistance en soit peut entraîner des économies importantes car, comme le montre l'expérience passée, le coût du gain de qualité est en général plus petit que l'économie réalisée par les volumes et les poids moindres résultants.

Des économies d'un autre genre sont parfois mises de l'avant par ceux qui suggèrent des réductions progressives des coefficients de sécurité. Ces derniers peuvent être définis par une relation numérique comparant la résistance aux charges appliquées.

Traditionnellement, ces facteurs de sécurité étaient évalués en fonction des risques acceptables ; comme on le voit au tableau I, la valeur du coefficient reflète l'état de l'art de construire et le niveau de crédibilité de l'époque. Certes, cette façon de faire ne répond plus au besoin actuel pour une approche rationnelle et scientifique.

Depuis qu'on a pu prédire les charges dues au vent, aux séismes et que l'on a pu établir la variabilité des propriétés des matériaux de même que la variabilité des charges, une tendance probabiliste a, à bon escient,


fait réduire les facteurs de sécurité dans le béton au niveau montré à la dernière colonne du tableau I.

Des tendances récentes apparues dans le Code National du Bâtiment du Canada (1975) et adoptées pour certains matériaux ont fait descendre ce coefficient de sécurité à un niveau aussi faible que 1.1 dans certaines circonstances (Knoll¹⁴).

Ces approches statistiques font toutefois abstraction des erreurs humaines (dans le design et dans la construction) qui, selon l'Association Internationale des Ponts et Charpentes¹⁵, sont habituellement présentes dans les cas d'effondrements ou d'avaries qui affligent épisodiquement certaines constructions.

Le raffinement des méthodes d'analyse est évidemment souhaitable car il établit la validité de tous les paramètres fixant les sollicitations des structures. Le niveau acceptable du coefficient de sécurité ne découle pas, de source, de ces uniques paramètres.

Conclusion

Dans ce bref article, on a dû laisser de côté bon nombre de détails historiques intéressants. L'auteur espère que les principaux événements rapportés, ainsi que les quelques exemples choisis, illustrent bien les développements les plus importants de l'histoire des structures en béton. 

NOMENCLATURE ET SIGLES

ACI	American Concrete Institute
CSA-ACNOR	Association Canadienne de Normalisation
NACU	National Association of Cement Users (E-U)
f'_c	résistance de la compression normalisée du béton, à 28 jours
f_y	limite d'élasticité de l'acier
v_c	cisaillement nominal permis dans le béton
A_b	section d'une barre
L_d	longueur d'ancrage requise
M_u	moment appliqué à une section
P	poids propre
S	surcharge d'utilisation
V_u	cisaillement total à la rupture

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie M. C. Ruel, ing., du bureau d'études Trudeau, Gascon, Lalancette & Associés Inc. pour les photos du stade et du vélodrome, figures 7 et 8.

RÉFÉRENCES

1. American Concrete Institute, « A Selection of Historic American Papers on Concrete, 1876-1926 », ACI Special Publication SP-52, 1976.
2. Kuzmanovic, B.O., « History of the Theory of Bridge Structures », ASCE Proc. Vol. 103, No ST-5, Mai 1977, pp. 1095-1111.
3. Bresse, J.A., « Cours Mécanique Appliquée », Paris, Vol. 1, 1859, Vol. 2, 1866, Vol. 3, 1880.

4. Culmann, K., Die Graphische Statik, 1866.
5. Navier, L.M., « Rapport et Mémoire sur les Ponts Suspendus », Paris 1823.
6. Humber, W., « A Practical Treatise of Cast and Wrought Iron Bridges and Girders », London, 1857.
7. Canadian Engineering Standards Association, « Standard Specification for Concrete and Reinforced Concrete », 1929.
8. Cross, H., « Analysis of Continuous Frames by Distributing Fixed End Moments », Proc. ASCE, Vol. 56, May 1930, pp. 919-928.
9. Kerebes, F. et Reid, H.B., « Fifty Years of Development in Building Code Requirements for Reinforced Concrete », ACI Proc., Vol. 50, Février 1954, pp. 441-471.
10. HSU T.T.C., « Torsion of Structural Concrete », ACI Publication SP-18, Détroit, 1968.
11. Mitchell, D., Lambert, P. et Collin, M.P., « The Effect of Stirrup Spacing and Longitudinal Restraint on the Behaviour of Reinforced Concrete Beams Subjected to Pure Torsion », Univ. of Toronto, Civil Eng., Pub. No. 21-22, Octobre 1971.
12. Scordelis, A. et Larsen, P.K., « Structural Response of Curved Reinforced Concrete Box Girder Bridge », ASCE Proc. Vol. 103, No STE, Août 1977, pp. 1507-1524.
13. Martineau, R., « Économie de Matériaux et de Main-d'Oeuvre par l'Emploi de la Précontrainte au Stade de Sherbrooke », Génie Construction, Montréal, Mai 1953.
14. Knoll, F., « Commentary on the Basic Philosophy and Recent Development of Safety Margins », Revue Canadienne de Génie Civil, Vol. 3, No 3, Septembre 1976, pp. 409-416.
15. Association Internationale des Ponts et Charpentes, « Symposium International », Québec 1974, Rapport final, p. 79.



Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc.
CONSULTANTS

génie, planification
et services
multidisciplinaires

1134 ouest, rue Ste Catherine, Montréal Québec H3B 1H4

**BOUTHILLETTE
PARIZEAU
& ASSOCIÉS**

INGÉNIEURS-CONSEILS
Mécanique - Electricité

9825, rue VERVILLE
Montréal H3L 3E1

Téléphone : (514) 387-3747

VERRE ET TECHNIQUE

Tous les produits verriers au service de la construction. Études et recherches sur leurs applications et installations.

10801 Ray Lawson, Mtl. 439 (514) 351-2020



Verre et technique Glass and technology
10801, BOUL RAY LAWSON/MONTREAL H1J 1M5 P.Q./ (514) 351-2020

CARMEL, FYEN, JACQUES & ASSOCIÉS
I N G E N I E U R S - C O N S E I L S

Fondations & Structures
Études techniques - Expertises
Plans - Devis - Surveillance

Tél. : 274-5671

700 ouest, boul. Crémazie, Suite 100, Montréal H3N 1A1



VERREAU FRONTENAC INC.

Div. Carrière Charlesbourg Div. Elz. Verreault
Div. Béton Frontenac Div. Tuyaux Vibrés

Spécialités :
Béton préparé Tuyaux de béton Gravier concassé

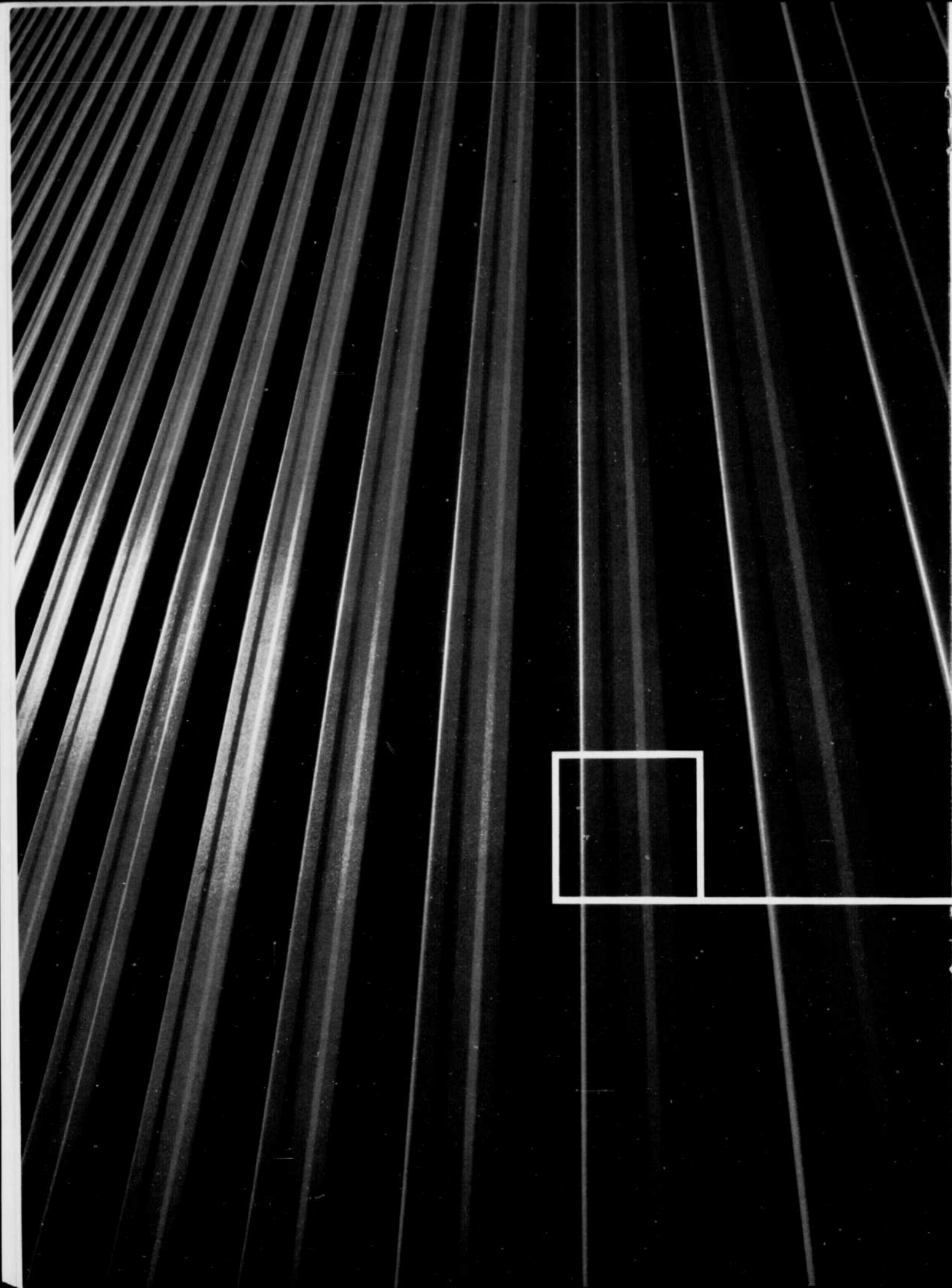
3725, St-Henri — Giffard, Beauport,
Québec G1L 4X1 — Tél. : (418) 667-2060



Contrôle Technique Appliqué Ltée

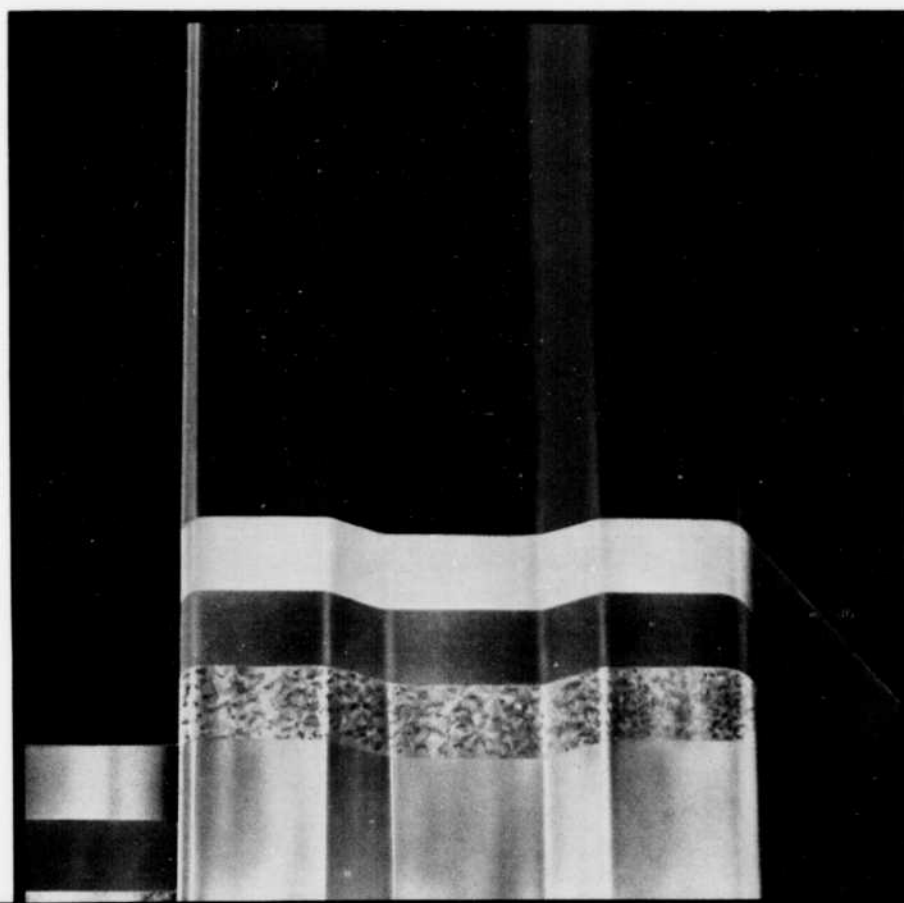
Services de consultation
Études géotechniques
Contrôle qualitatif des matériaux
Évaluation • Expertises
Essais nondestructifs par radiographies,
ultrasons, infra-rouge

128 rue Elmslie, LaSalle, Qué. H8R 1V8
Téléphone (514) 365-3111



Tout nouveau . . . un autre excellent produit doté d'une résistance remarquable en milieux corrosifs vient s'ajouter à la gamme des aciers préfinis Stelcolour:

L'acier préfini Stelcolour* VinyTop



Stelcolour: symbole d'excellence en acier préfini. Ce produit connaît maintenant une nouvelle dimension avec VinyTop. En effet, l'acier préfini Stelcolour VinyTop, qui offre une excellente résistance en milieux corrosifs, se compose d'une épaisse couche de chlorure polyvinyle (CPV) appliquée au rouleau sur un subjectile en acier galvanisé préapprêté et ensuite marquée d'un relief délicat. VinyTop! Découvrez l'acier préfini Stelcolour VinyTop ainsi que toute la gamme d'aciers préfinis Stelcolour répondant chacun à des normes bien précises. Un nombre sans cesse croissant d'architectes, d'ingénieurs et de constructeurs découvrent ce matériau qui allie harmonieusement beauté, rendement et économie.

Tous les aciers préfinis Stelcolour sont fabriqués selon des normes de qualité très strictes et offrent un fini, un coloris, une texture, un lustre et une épaisseur uniformes. Pour sa part, l'acier préfini Stelcolour VinyTop comporte un subjectile galvanisé de désignation G90 conforme à la norme ASTM A525; ce matériau peut également être livré conforme aux caractéristiques mécaniques de la norme ASTM A446. Son fini est un chlorure extrêmement élastique (CPV) appliqué sous forme de plastisol, c'est-à-dire une émulsion d'une résine vinylique solide dans un plastifiant liquide solidement rattaché au subjectile en acier par un procédé de revêtement au rouleau après un traitement chimique en cinq étapes qui nettoie à la fois le matériau et le prépare au revêtement. On réalise ainsi un revêtement multicouche durable d'une beauté exceptionnelle. L'acier préfini Stelcolour VinyTop vous est offert en onze coloris attrayants. (La photographie illustre un revêtement en acier préfini Stelcolour VinyTop à la Nelson Steel Limited, Stoney Creek, Ontario).

stelcolour

VinyTop

Envoyer à: The Steel Company
of Canada, Limited
Stelco Tower
Department "A"
Hamilton, Ontario
L8N 9Z9

Acier Préfini

Veillez me faire parvenir des renseignements sur:

l'acier préfini Stelcolour VinyTop l'acier préfini Stelcolour

Nom/titre _____

Compagnie _____

Adresse _____

*Marque déposée

7801 / 7F

stelco

The Steel Company
of Canada, Limited

Société canadienne ayant usines et bureaux
par tout le Canada et des représentants
sur les principaux marchés du monde.

Beaulier INC

aéraulique industrielle

maurice beaudet ing.

6955 boul. taschereau,
ch. 208,
brossard, québec J4Z 1A7
(514) 462-1072

systèmes de traitement et de distribution de l'air

- transport pneumatique
- épargne d'énergie
- conditionnement
- dépollution
- ventilation
- hygrométrie



GÉOPHYSIQUE
FRANCE QUEBEC INC

GROUPE G.F.Q.
Experts - Conseils

GÉOLOGIE — GÉOPHYSIQUE
GÉNIE CIVIL
GÉOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT
EXPLORATION MINIERE

894, rue Front, Longueuil, Qué., J4K 1Z7 / (514) 679-2400
1798, rue Citadelle, Val d'Or, Qué. J9P 4P8 / (819) 825-5777
152 Parkview Place, Sud-est, Calgary, Alb., T2J 4W5



LALONDE, VALOIS
LAMARRE, VALOIS
& ASSOCIÉS, INC.
EXPERTS-CONSEILS CONSULTANTS
GROUPE LAVALIN

Études techniques et de factibilité, Ingénierie,
Services d'Ingénierie, d'Approvisionnement
et de Gérance de Projets et de Construction,
Installations de transport et de Production d'Énergie,
Travaux Publics, Travaux Maritimes,
Travaux Municipaux, Projets Industriels et Bâtiments

1130 OUEST, RUE SHERBROOKE, MONTRÉAL H3A 2R5

MARC R. TRUDEAU, ING.
J.-RENÉ LALANCETTE, ING.
GILLES GASCON, ING.

Trudeau, Gascon, Lalancette et Associés

Ingénieurs-Conseils

PLACE DU CANADA, SUITE 2220, MONTRÉAL H3B 2N2 / 866-2471

HEWLETT-PACKARD

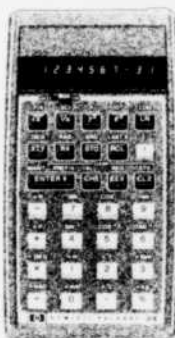
présente une nouvelle génération de calculatrices scientifiques.

La série «E».

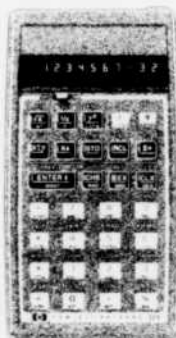
Caractéristiques générales

- * Affichage incliné, non directif et très lisible
- * Séquence de test automatique préprogrammée
- * Messages d'erreurs
- * Notation polonaise inverse
- * Des performances en plus
- * Très bon rapport qualité-prix traditionnel à Hewlett-Packard

HP-31E:
\$67.30



HP-32E:
\$100.95



HP-33E:
\$126.50



- * Fonctions mathématiques et scientifiques
- * Conversions métriques
- * 4 mémoires adressables

- * Plus que la HP-31E
- * Fonctions statistiques préprogrammées
- * 15 mémoires adressables
- * 3 modes d'affichage

- * Scientifique programmable
- * 49 pas combinés
- * Logique de programmation poussée
- * Sous-routines

**Des dépliants détaillés sont à votre disposition.
Pourquoi payer plus cher ailleurs? Venez nous voir.**



COOPERATIVE ETUDIANTE DE POLYTECHNIQUE

Local C-106
Ecole Polytechnique
Campus de l'Université de Montréal

C.P. 6079, Succ. "A"
Montréal H3C 3A7

TEL: (514) 344-4841

À PROPOS DE L'INSPECTION DU BÉTON

Dr Gilbert Haddad, ing. *

Sommaire

Le rôle de l'inspection dans la construction d'ouvrages en béton est souvent mal interprété. Cet article contribuera à redéfinir l'inspection en la présentant sous une optique réaliste, tout en mettant en question certains préjugés.

Beaucoup d'encre a coulé et bien des opinions se sont confrontées au sujet du rôle de l'inspection du béton et de sa justification.

Quoiqu'il existe plusieurs définitions de l'inspection, celle qui serait la plus appropriée à la discussion qui suit est : « l'examen attentif dans un but d'enquête, de contrôle, de surveillance et de vérification de la conformité des travaux et des produits aux cahiers des charges et clauses du contrat ».

Donc, d'une manière générale, l'objectif principal de l'inspection consiste à faire respecter les exigences des cahiers des charges et des clauses du contrat dans le but d'obtenir la qualité requise. L'inspection n'est pas une action policière, quoique certains ingénieurs ou architectes puissent croire qu'elle devrait l'être, que la plupart des constructeurs ont probablement l'impression à leur grand désespoir qu'elle l'est, et que certains inspecteurs agissent comme s'ils le croyaient fermement.

C'est cette attitude générale qui cause le plus de tort à l'harmonie et à la coopération qui devraient régner sur un chantier de construction. Bien des malentendus pourraient être évités si chacun réalisait l'étendue exacte de son mandat et de ses responsabilités. Que de fois lit-on dans des cahiers des charges que la sur-

veillance par l'ingénieur, l'architecte ou le laboratoire ne déchargera pas l'entrepreneur de sa responsabilité d'exécuter un ouvrage de qualité, sans vice ni défaut. Voilà un lourd fardeau à supporter seul. Il n'est pas étonnant que l'entrepreneur a souvent l'impression que tout le monde est ligué contre lui. On ne peut alors pas lui reprocher d'adopter une attitude de méfiance envers toute inspection initiée par le maître d'œuvre, l'ingénieur ou l'architecte.

Il ne faudrait pas perdre de vue le fait que le constructeur n'est pas le seul responsable envers le maître d'œuvre pour l'exécution d'un ouvrage, sans vice ni défaut, conforme aux exigences des cahiers des charges. Il y a également l'ingénieur et l'architecte, à qui le maître d'œuvre a confié la tâche de concevoir une structure esthétique, économique et fonctionnelle, ainsi que la responsabilité de rédiger des cahiers des charges clairs et réalistes. Il y a aussi le laboratoire, lequel doit posséder la compétence technologique pour être apte à juger de la qualité des méthodes et des produits utilisés.

En tenant pour acquis que la majorité des constructeurs sont intègres, désirent exécuter un travail soigné et fournir un ouvrage de qualité, il serait légitime de mettre en question la nécessité de l'inspection et de se demander s'il n'est pas redondant d'avoir recours à l'inspection pour assurer la qualité.

Pour y répondre, il faut tenir compte d'un facteur très important dans l'exécution d'un ouvrage : l'élément humain ou l'attitude du personnel œuvrant sur le chantier de construction. Ce personnel pourrait être réparti en deux groupes : les dirigeants et les exécutants. Il est évident que les dirigeants doivent être compétents et consciencieux ; autrement, ils n'occuperaient pas des postes de responsabilité et ne demeureraient pas longtemps en affaires. Les exécutants, par contre, dépendant de leur compétence, de leur motivation et de l'intérêt qu'ils témoignent au travail qu'ils exécutent, peuvent soit faire, soit défaire la réputation de l'entreprise pour laquelle ils travaillent. Il y a certes des exécutants très consciencieux et très compétents. Malheureusement, il y en a d'autres qui sont convaincus que n'importe quel raccourci qu'ils adopteront sera permis, qu'ils pourront innover leurs propres règles de l'art, que certaines exigences des cahiers des charges

*
L'auteur

Dr Gilbert Haddad, ing., est le chef de la division contrôle des matériaux à la Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc. Il est l'auteur de plusieurs articles sur la technologie du béton et de la construction. Il a, de plus, donné un très grand nombre de conférences sur ces sujets.

sont superflues et peuvent être ignorées car elles n'ont pas été observées ailleurs et personne n'a trouvé à redire ou ne s'en est aperçu.

Il faut aussi admettre que, malgré toutes les bonnes intentions des dirigeants et des exécutants, des erreurs ou des omissions involontaires pourraient se produire. Il est également possible que certaines clauses des cahiers des charges soient ambiguës, incomplètes ou difficilement réalisables.

Un des objectifs de l'inspection consiste à prévenir des situations qui pourraient avoir des conséquences néfastes quant à la pérennité de l'ouvrage, son apparence, son utilité, les coûts d'entretien, et qui pourraient même mettre en danger des vies humaines. Il y a eu en effet bien des cas où l'intervention de l'inspecteur a permis d'éviter des erreurs graves qui auraient pu avoir des conséquences désastreuses pour le constructeur.

Il semble évident que l'inspecteur a un rôle très important à jouer. Rôle qui est souvent mal interprété, ou mal joué. Une mise au point sur le concept de l'inspection devrait donc contribuer à la placer dans une optique plus réaliste.

L'inspection doit être essentiellement une action préventive et vigilante. Elle peut être exécutée aussi bien à la demande du maître d'œuvre, de l'ingénieur ou de l'architecte, qu'à celle du constructeur lui-même. En effet, si on examine les industries manufacturières, on se rend compte qu'elles ont leur propre système d'inspection, et c'est grâce à cela qu'elles sont en mesure de garantir leurs produits. On retrouve une situation analogue dans l'industrie du béton préfabriqué, et on ne peut pas nier que la qualité des produits préfabriqués est généralement supérieure à celle du béton exécuté en chantier. Tout indique qu'une inspection par le manufacturier peut être efficace et rentable. Si le constructeur pouvait suivre cet exemple, on aurait alors la situation idéale d'autocontrôle où le constructeur organiserait son propre système d'inspection et où le propriétaire aurait seulement un système de surveillance pour s'assurer de l'efficacité de l'inspection. Le constructeur pourrait soit utiliser son propre effectif pour former un groupe uniquement responsable de l'inspection, lequel serait totalement indépendant du groupe responsable de la construction, soit confier l'inspection à un organisme indépendant.

Quoique la situation exposée ci-devant ait déjà été considérée par certains maîtres d'œuvre, elle n'a été que très rarement mise en pratique. La coutume, qui est encore suivie, est de confier l'inspection à un laboratoire qui est mandaté par le propriétaire et qui rend compte à l'ingénieur ou à l'architecte.

Peu importe qui mandate le laboratoire et à qui il doit rendre compte. Les inspecteurs affectés à l'inspection ne devraient avoir comme objectif principal que celui de collaborer avec le constructeur, l'ingénieur et l'architecte, afin que les ouvrages soient exécutés suivant les cahiers des charges, les normes applicables et, le cas échéant, les règles de l'art.

Joseph J. Waddell, auteur de plusieurs écrits sur le béton, déclarait une fois que si l'inspection était appliquée convenablement, elle devrait pouvoir assurer simultanément, au propriétaire, la structure pour laquelle il paye et, au constructeur, un profit raisonnable.

D'après tout ce qui précède, on a l'impression que l'inspecteur devrait être un surhomme doté de capacités exceptionnelles. Non, on n'exige pas tant que cela ! Ce qu'on demande d'un inspecteur, c'est qu'il soit honnête, compétent, bien documenté et convenablement appuyé par ses supérieurs.

On déborderait du cadre de cet exposé si on voulait énumérer en détails toutes les qualifications et caractéristiques qu'un inspecteur devrait posséder. On mettra plutôt l'accent sur ce qu'on doit s'attendre de l'inspection en général et de l'inspecteur en particulier. Ceci peut être résumé par les points suivants :

- Bien comprendre les exigences stipulées dans les documents contractuels.
- Être capable de juger si le travail exécuté ou le produit utilisé est conforme à ces exigences.
- Être en mesure d'agir en vue de corriger la situation en cas de non-conformité.
- Être objectif dans l'interprétation des exigences et ne prendre ni le parti du propriétaire ni celui du constructeur. Donc, veiller à ce que le constructeur ne soit pas obligé de faire plus que ne stipule le contrat, et qu'il ne prenne pas la liberté d'en faire moins.
- Ne pas autoriser librement des amendements aux exigences ou aux conditions du contrat, ou accepter des substituts aux méthodes ou aux produits spécifiés sans consulter au préalable l'ingénieur ou l'architecte. Ceux-ci, en spécifiant un produit ou une méthode particulière, ne l'ont certainement pas fait à la légère, mais devaient fort probablement avoir des raisons qui pourraient ne pas être évidentes au personnel du chantier.
- Anticiper les problèmes possibles et les signaler aussitôt aux responsables.

Il ne suffit pas d'avoir des inspecteurs qualifiés, il faut aussi que leur travail soit organisé suivant un plan d'action judicieux. Pour être efficace, l'inspection doit être permanente et omniprésente. Une inspection sporadique à temps partiel perd beaucoup de son efficacité car, manquant de continuité, elle risque souvent de n'être exécutée que superficiellement. Ceci est dû au fait que les inspecteurs les plus qualifiés sont généralement assignés aux chantiers où une inspection permanente est requise, tandis que les autres inspecteurs, demeurant en attente, sont délégués à temps partiel à tel ou tel autre chantier suivant la demande et suivant leur disponibilité au moment de la demande. Ceci ne veut pas impliquer qu'ils n'exécutent pas leur travail consciencieusement, mais plutôt souligner le risque qu'une situation nécessitant une intervention passe inaperçue.

Une erreur souvent commise est celle de croire qu'un prélèvement au hasard d'échantillons de béton peut suffire à assurer la qualité d'un ouvrage. Certes, si cet échantillonnage est bien planifié, il permettra d'établir la statistique des caractéristiques du béton livré, mais au point de déchargement du camion malaxeur seulement. Cependant, tous les facteurs, qui peuvent influencer les caractéristiques et la performance du béton à partir du moment de sa livraison jusqu'au moment de la mise en service de l'ouvrage, demeurent dans l'obscurité et sont ignorés. Que de fois a-t-on vu un béton de qualité malmené par des ouvriers inconscients, n'ayant aucune notion des règles de l'art relatives à la mise en place, la vibration, la finition, la cure et la protection ! À quoi servirait-il, par exemple, d'établir au moyen d'échantillons que le béton livré avait une résistance moyenne de 35 MPa si, à la suite de mauvaises manipulations, sa résistance dans la structure a été dégradée à 15 ou 20 MPa, si une surface de béton exposée est parsemée de nids de cailloux, si le béton a gelé ou si une dalle accuse tout un réseau de fissures éparses ? Seule une inspection soutenue durant toute la durée de la mise en place et durant la période de cure et de protection permet d'assurer que la qualité du béton dans la structure correspond à celle du béton livré et à celle que le maître d'œuvre souhaite obtenir.

L'auteur bien connu Edward Abdun-Nur a déclaré, lors d'une de ses nombreuses conférences aux États-Unis, que l'inspection sporadique est une farce et que le prélèvement d'échantillons de béton sans inspection soutenue est un gaspillage d'argent.

Idéalement, l'influence de l'inspection devrait se manifester avant même que ne débute la construction. Dès que le constructeur est désigné, on devrait organiser une réunion à laquelle seraient conviés les représentants du maître d'œuvre, du constructeur et du laboratoire, directement impliqués dans le projet. Le but de cette réunion serait d'éviter les risques de mésententes lors des travaux, en établissant ou en définissant les domaines d'autorité, les procédures relatives aux communications, les précautions spéciales à prendre, les méthodes relevant des règles de l'art non définies dans les cahiers des charges ou les normes, les méthodes de mise en place, les traitements de surface, les méthodes de réparations, les méthodes de cure et de protection du béton, les matériaux et les produits à utiliser et tout autre détail technique. Toutes les décisions et ententes prises au cours de cette réunion seraient enregistrées dans un procès-verbal, lequel serait annexé au cahier des charges.

L'inspection ne devrait pas se limiter à la mise en place, mais devrait s'étendre à toutes les activités, depuis l'approvisionnement des matières premières à la centrale de béton, jusqu'aux étapes finales du décoffrage, de la finition, des traitements de surface et, si nécessaire, des retouches ou réparations. Elle devrait s'intensifier sur tout ce qui pourrait affecter l'apparence, la pérennité ou la performance de l'ouvrage.


Tout ce qui précède confirme que l'inspection n'est pas un luxe, mais un outil très précieux pour obtenir la

qualité visée. Il est évident que l'inspection est loin d'être une tâche aisée que l'on pourrait confier à n'importe quel individu qui semble avoir des connaissances rudimentaires des matériaux et qui ferait simplement acte de présence au chantier.

Heureusement, les mandats pour les services d'inspection ne sont que très rarement octroyés sur une base compétitive, suivant le système du plus bas soumissionnaire, car le danger serait que celui-ci pourrait être tenté d'accroître ses profits en embauchant un personnel mal payé et par conséquent souvent peu qualifié.

D'autre part, le maître d'œuvre, qui choisit et désigne un laboratoire sur la base de ses compétences et qui paie pour des services d'inspection, a le droit d'exiger et d'obtenir le meilleur service possible.

Il est peu probable que l'inspection tende à disparaître. Bien au contraire, le rythme de construction actuel, l'usage grandissant des différentes méthodes et des matériaux spécialisés, ainsi que les progrès technologiques exigeront une surveillance accrue par un personnel qualifié et compétent. On verra peut-être un jour prochain l'accréditation des inspecteurs et leur classification, non pas suivant le nombre d'années de travail, mais suivant la compétence réelle.

On verra peut-être aussi, tel que le préconise le consultant en béton, James M. Shilstone, l'enseignement universitaire spécialisé dans tous les aspects se rapportant à la technologie du béton et à la construction en béton, pour former une nouvelle classe de professionnels du béton. 

BIBLIOGRAPHIE

- Edward A. Abdun-Nur, « *Inspection and Product Control* », 6th Annual Conference, Utah State University, March 1964.
- Joseph J. Waddell, « *An Inspection Rationale* », Concrete Construction, October 1966, pp. 579-580.
- « *Inspection and Quality Control of Concrete* », ACI Journal, August 1968, pp. 639-658.
- « *Responsibility for Inspection* », ACI Journal, June 1972, pp. 320-333.
- « *Responsibility in Concrete Inspection* », ACI Journal, April 1974, pp. 201-218.
- « *Inspection of Concrete* », ACI Journal, June 1975, pp. 269-290.
- James M. Shilstone, « *Concrete - Missing a Quarterback ?* », Concrete Construction, June 1976, pp. 267-268.

Nous en sommes rendus à rivaliser avec nous-mêmes.

Alors que certains concurrents peuvent être tout heureux de leur seul petit copieur, nous, au contraire, sachant qu'à chaque entreprise doit répondre sa propre solution, nous offrons trois copieurs transportables.

Le copieur mobile Xerox 3100 pour des copies de format standard. Et d'un.

Le copieur Xerox 3103 pour des copies allant du format standard au format 14" x 18". Et de deux.

Et le copieur Xerox 3107 pour des copies de format standard ou plus grand et qui peut aussi réduire au format régulier des originaux de grande dimension. Et de trois.

Trois copieurs, trois solutions, et deux possibilités: l'achat ou la location.

Si vous optez pour l'achat, Xerox vous offre tout un lot d'avantages. Entre autres: un équipement de dernier cri et un contrat d'entretien, pièces comprises, pouvant aller jusqu'à 7 ans.

Voilà pourquoi Xerox, tout compte fait, ne peut rivaliser qu'avec lui-même.

Xerox du Canada Limitée
XEROX

XEROX et 3100 sont des marques déposées de XEROX CORPORATION, utilisées par XEROX DU CANADA LIMITÉE en tant qu'utilisateur inscrit.
3107 est une marque de commerce de XEROX CORPORATION.

3100

3107

3103



La croissance de Conviron est assurée à l'étranger grâce aux atouts de la SEE.

Lorsque vous exportez vers 56 pays différents, les occasions sont illimitées mais les risques aussi. Voici des moyens pour contrôler ces deux facteurs.

La croissance, c'est merveilleux! Mais qu'il s'agisse de plantes ou de compagnies, elle doit être contrôlée afin d'éviter l'éparpillement.

Controlled Environments Limited est synonyme de croissance et de recherche. Cette compagnie de Winnipeg, unique en son genre, fabrique des chambres de contrôle pour la croissance des plantes permettant de régler précisément le degré de température, de lumière et d'humidité.

Les graines sont semées. Les plantes croissent. On fait la cueillette. Et la demande grandit puisque les exportations représentent maintenant 80% des ventes de la compagnie.

Le président Richard H. Taylor croit à la spécialisation dans le domaine de

l'exportation. Il croit également à l'assurance-crédit qu'offre la Société pour l'expansion des exportations, une entreprise fédérale à base commerciale. Toutes les exportations de Conviron destinées à l'extérieur de l'Amérique du Nord sont assurées par la SEE contre les risques de non-paiement ou de paiement tardif, les risques politiques ou autres.

Mettez tous nos atouts de votre côté. La SEE s'occupe du financement de vos projets à l'étranger, garantit vos investissements et assure vos exportations à des primes peu élevées. (En plus de vous être profitable, cet appui crée des emplois pour les Canadiens).

Communiquez avec nous: nous sommes à votre service.



Cochez les secteurs qui vous intéressent:

- financement d'exportation à long terme
- assurance-crédit à l'exportation
- garanties d'investissement à l'étranger
- l'assurance-cautionnement

Faites parvenir à:
Communications de la Société
Société pour l'expansion des exportations
B.P. 655, Ottawa, Ontario K1P 5T9

Société pour l'expansion des exportations.



Les marchés mondiaux à la portée des Canadiens.
Ottawa • Montréal • Toronto • Vancouver • Halifax



L'AMIANTE-CIMENT

par Marcel Cossette, ing., et
Pierre Delvaux, D.Sc.A. *

Sommaire

Le Canada est un des plus grands producteurs d'amiante du monde. La majeure partie de l'amiante est utilisée dans la fabrication de l'amiante-ciment. Paradoxalement, ce matériau de construction, très en vogue en Europe et au Japon, est très peu utilisé en Amérique du Nord. Cet article a pour but de présenter brièvement la technologie de l'amiante-ciment et ses principales applications.

Introduction

L'amiante-ciment est un mélange d'eau, de liant (ciment ou ciment silice) et de fibres d'amiante. On utilise aussi d'autres termes pour désigner ces mélanges tels que : ciment d'amiante, asbeste ciment, ou fibro ciment.

Comme on le verra plus loin, la technique de production de l'amiante-ciment la plus utilisée, la méthode humide, s'apparente bien plus à la technique de la fabrication du papier qu'à celle du béton.

Même si les produits d'amiante-ciment contiennent relativement peu d'amiante, de 10 à 25% de la masse totale du produit fini, l'amiante-ciment constitue le plus gros débouché pour l'amiante chrysotile extrait au Québec, voir tableau 1.

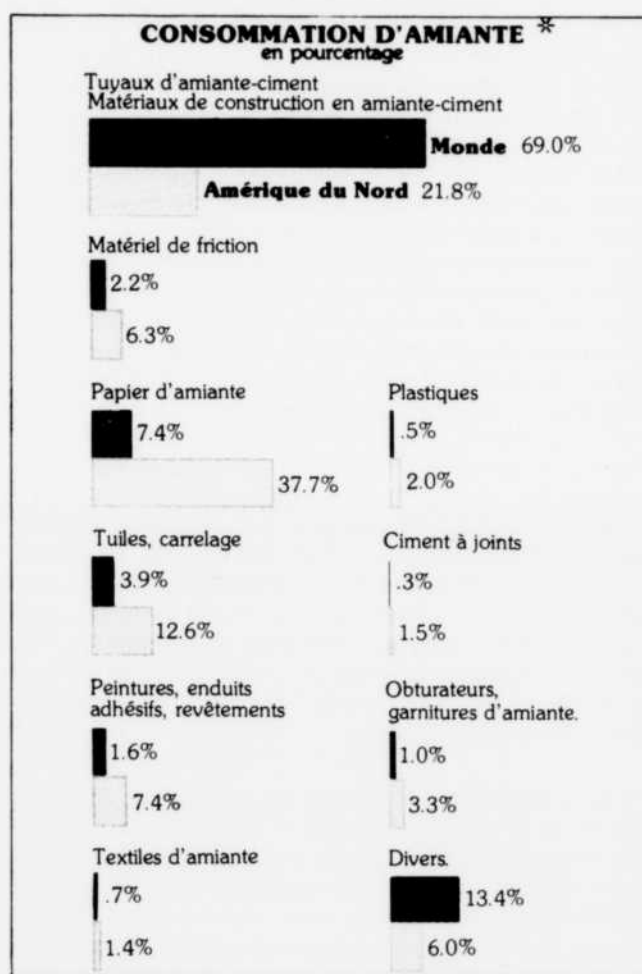
Bien que l'amiante-ciment soit un produit utilisé depuis très longtemps, il se fait encore à travers le monde

Les auteurs :

M. Marcel Cossette, ing., diplômé de l'Université McGill en génie chimique, est directeur du laboratoire de l'Association des Mines d'Amiante du Québec. M. Cossette est membre actif de plusieurs associations professionnelles et siège à bon nombre de comités techniques.

M. Pierre Delvaux, docteur es sciences appliquées de l'Université de Louvain (Belgique), s'occupe activement du programme de recherche sur l'amiante de l'Université de Sherbrooke.

TABLEAU I



* Ces statistiques ont été puisées de la publication « Amiante » de l'Association des Mines d'Amiante du Québec.

un gros effort de recherche, et les publications scientifiques portant sur l'amiante-ciment éditées au cours des cinq dernières années dépassent en nombre les publications sur toutes les autres applications industrielles des fibres d'amiante. Durant cette même période, plus de 200 brevets applicables au domaine de l'amiante-ciment ont été accordés à travers le monde.

Les amiantes

Il existe deux grandes familles d'amiante : l'amiante chrysotile (le seul produit au Québec) qui représente 90% de la production mondiale et les amiantes amphiboles dont il existe cinq variétés principales (trémolite, crocidolite, actinolite, etc.).

Les fibres d'amiante sont classées d'après leur longueur en neuf groupes allant du groupe 1, pour les plus longues (longueur moyenne approximative de 25 mm), au groupe 9, pour les plus courtes (longueur moyenne de 1 mm). Chaque groupe est à son tour divisé en grades identifiés par une lettre (dans l'ordre alphabétique suivant les longueurs décroissantes). Les mines d'amiante du Québec mettent à la disposition de leurs clients à travers le monde près de 300 grades différents ayant des spécifications très précises.

Le grade d'amiante le plus utilisé pour la fabrication de l'amiante-ciment est le grade 4T, qui correspond à des fibres ayant une longueur médiane de l'ordre de 3 mm. Les fibres les plus longues, environ 10%, ont une longueur moyenne de 6 mm.

Les grades d'amiante disponibles dans le commerce contiennent de l'amiante sous forme de faisceaux de fibres constitués d'un ensemble de fibrilles élémentaires ; il est donc avantageux de défibrer davantage cette amiante pour produire plus d'éléments de renforcement par unité de masse. L'optimum de défibrage est le meilleur rapport entre le diamètre et la longueur des fibres. Un défibrage trop poussé entraîne en effet une réduction de la longueur moyenne des fibres.

Dans la fabrication de l'amiante-ciment, on utilise souvent un peu d'amiante amphibole (2% environ), mélangé à l'amiante chrysotile, pour accélérer le drainage de l'eau excédentaire utilisée lors des premières phases de la fabrication de l'amiante-ciment et conférer une meilleure résistance verte aux produits. Ces amiantes amphiboles peuvent aussi contribuer à la résistance mécanique (surtout la crocidolite) mais ne sont pas utilisés seuls car ils sont trop rugueux et donneraient des produits poreux.

Étant donné que la vitesse de production est fonction de la vitesse de drainage, il est important que les amiantes utilisés soient libres des poussières qui ralentissent l'écoulement et qui ne contribuent en rien au renforcement du produit.

En fait, on utilise des mélanges d'amiante qui permettent d'atteindre le meilleur compromis entre la longueur des fibres, leur résistance à la traction, leur vitesse de drainage, leur adhésion au ciment et leur coût.

Techniques de production de l'amiante-ciment

Défibrage

Deux techniques sont utilisées pour défibrer l'amiante : le procédé à sec et le procédé par voie humide. Le procédé à sec fait appel à l'usage de broyeurs à meules du

type Kollergang qui fonctionnent par pression et friction, ou à barres qui fonctionnent par impact. Leurs avantages sont l'économie d'énergie et un faible coût. Leur désavantage est le bris des fibres qui sont raccourcies et qui peuvent être légèrement dégradées mécaniquement.

Le procédé par voie humide fonctionne par cisaillement hydraulique et ne brise pas les fibres. De plus, il ne crée aucune pollution atmosphérique.

La tendance actuelle est de broyer par voie « semi-humide » dans les installations de broyage à sec. La teneur en eau des fibres étant de l'ordre de 15 à 20%.

On peut alors fabriquer des feuilles d'amiante-ciment selon deux procédés bien différents tels qu'illustrés dans les schémas suivants : le procédé humide et le procédé à sec.

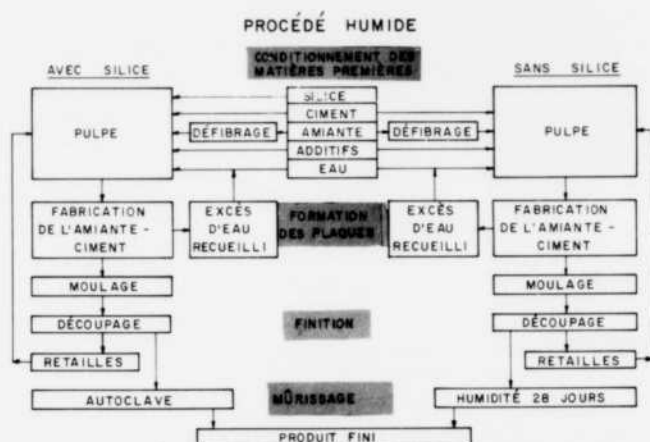


Figure 1 — Schéma du procédé humide de fabrication des plaques d'amiante-ciment.

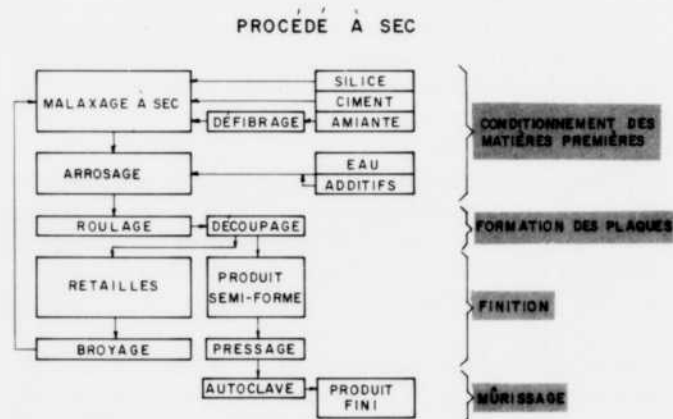


Figure 2 — Schéma du procédé à sec de fabrication des plaques d'amiante-ciment.

Formation des produits par voie humide

Il existe deux types de machine pour former les produits d'amiante-ciment. La plus ancienne est la machine Foudrinier qui fonctionne comme une machine à papier sans section de séchoir. La pâte d'amiante-

ciment est déposée sur une toile de drainage et entraînée au-dessus de bouches d'aspiration puis, entre des rouleaux compresseurs.

Toutes ces machines ont été remplacées par des machines de type Hatschek, qui sont beaucoup plus efficaces (3 à 7 m/mn au lieu de 1.3 m/mn).

La machine Hatschek (figure 3) est équipée de deux ou trois bacs dans lesquels sont montés des agitateurs qui maintiennent les particules solides du mélange d'amiante-ciment en suspension et modifient éventuellement l'orientation des fibres. Une orientation en travers de la direction de la machine est favorisée. Les particules solides représentent environ 2 à 7% du mélange (la pulpe). Dans chaque bac, il y a un rouleau de drainage à surface perforée (cylindre pêcheur), qui baigne partiellement dans la suspension. La surface du rouleau est couverte d'une gaze métallique sur laquelle se déposent les fibres d'amiante, les grains de ciment et la silice s'il y en a dans le mélange. Cette pellicule est entraînée par la rotation du rouleau, A, et entre en contact avec la toile de filtration, B. Un rouleau de couche presse alors la toile de filtration contre la pulpe d'amiante-ciment. Étant donné que la toile est moins poreuse que la surface du rouleau, la pulpe adhère à la toile qui la transporte vers le bac suivant. Dans le bac suivant, la couche d'amiante-ciment recueille la deuxième couche, formée par le deuxième rouleau. Le même phénomène se produit dans chaque bac successif. La toile tourne de 180 degrés autour du dernier rouleau de couche, C, ce qui amène l'amiante-ciment à la surface supérieure de la toile. La toile transporte alors sa charge au-dessus des bouches d'aspiration, D, qui enlèvent l'excès d'eau puis entre ensuite en contact avec le rouleau accumulateur (cylindre de format).

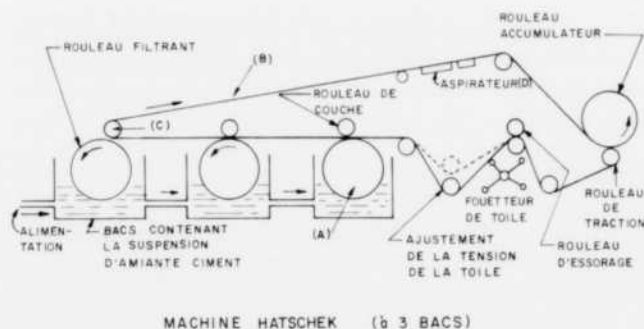


Figure 3 — Schéma de principe d'une machine de type Hatschek.

L'amiante-ciment ainsi formé adhère plus facilement sur la face lisse de ce rouleau accumulateur, E, que sur la toile, ce qui fait que les couches de pulpe s'accumulent sur ce rouleau jusqu'à ce que l'on obtienne l'épaisseur désirée. Un couteau rotatif coupe alors la feuille accumulée et celle-ci tombe sur un convoyeur qui l'entraîne. La longueur des plaques dépend du périmètre du rouleau accumulateur choisi.

Les plaques ainsi formées sont accumulées l'une sur l'autre, à plat et séparées par des intercalaires d'acier ; elles sont éventuellement comprimées puis transportées soit vers l'autoclave, soit vers les chambres de mûrissage, suivant le traitement qu'on désire leur faire subir.

Pour fabriquer des plaques ondulées, la plaque plane est entraînée à la sortie de la machine Hatschek sur un feutre qui, par entraînement mécanique dans le sens de la largeur, confère l'ondulation désirée.

En général, toutes ces opérations sont complètement automatiques et sont dirigées d'un poste de contrôle central.

Recyclage de l'eau

L'eau drainée ou extraite du mélange d'amiante-ciment est recyclée car elle contient du ciment, de fines fibres d'amiante, des agents tensio-actifs, des pigments et des calories. Les agents tensio-actifs peuvent être des dispersants, des flocculants ou des plastifiants qui sont utilisés dans le but de rendre la suspension plus homogène et d'augmenter la vitesse de drainage. On chauffe l'eau dans les cônes de recyclage aux environs de 27°C de façon à accélérer l'égouttement.

Mûrissage

On peut utiliser deux méthodes de mûrissage : la première à l'autoclave, l'autre à température ambiante. La pression de la vapeur d'eau dans l'autoclave est d'environ 700 k Pa et sa température de 170°C. Dans l'autoclave la chaux libérée lors de l'hydratation du ciment réagit avec la silice pour donner naissance à d'autres liaisons chimiques si bien qu'on peut envisager une réduction de la quantité de ciment. On utilise en général une proportion de silice voisine de 40% de la masse du ciment. Le lendemain de leur fabrication les plaques d'amiante-ciment sont prêtes à être livrées.

Dans la méthode de mûrissage à la température ambiante, on laisse les plaques d'amiante mûrir en atmosphère humide. On ne peut alors utiliser de la silice et il faut augmenter les quantités de ciment utilisé, mais on économise de l'énergie et les investissements initiaux sont moindres. Cependant, les coûts d'inventaire sont plus élevés car les stocks de produits en voie de mûrissage peuvent être importants. Lors du durcissement à température ambiante, les plaques sont empilées les unes sur les autres de manière à maintenir le degré d'humidité, la température et prévenir éventuellement toute déformation géométrique.

Fabrication des tuyaux et conduits

Les tuyaux d'amiante-ciment sont fabriqués comme les plaques d'amiante-ciment à la différence que les couches d'amiante-ciment sont accumulées sur un mandrin d'un diamètre égal à celui de l'intérieur du tuyau. Le mandrin a une surface polie qui donne un fini lisse à l'intérieur du tuyau.

Formation des produits par le procédé à sec

Ce procédé est utilisé surtout pour la fabrication de tuiles en amiante-ciment. Le ciment, les fibres d'amiante et les colorants sont mélangés à sec dans un malaxeur de forme cylindrique équipé de palettes. Le mélange est déposé en couches uniformes sur un convoyeur qui passe sous des gicleurs pour être humecté avec seulement la quantité d'eau chaude à 27°C nécessaire pour hydrater le ciment. Plus loin, des rouleaux compriment le mélange pour l'amener à l'épaisseur

voulue et des couteaux rotatifs le séparent en tuiles individuelles. Ces tuiles sont ensuite mises en forme dans une presse, mûries, finies et perforées pour recevoir les clous.

Il est à remarquer cependant que ce procédé est de plus en plus remplacé par l'estampage aux dimensions désirées des plaques directement à la sortie de la machine Hatschek. Après mûrissage les tuiles sont facilement détachées les unes des autres, passées dans un tunnel de peinture et empaquetées.

Quelques autres procédés par voie humide

Suivant les produits désirés, d'autres procédés humides sont également appliqués. Les principaux sont :

Procédé Mazza

Cette machine est généralement employée pour la formation de tuyaux d'écoulement dont les extrémités peuvent être moulées. Elle consiste en un cylindre sous dépression garni d'une gaze métallique et tournant dans un mélange eau amiante ciment le temps nécessaire pour obtenir l'épaisseur voulue.

Procédé par extrusion

Ce procédé est analogue aux extrudeuses de matière plastique et permet une production en continu de produits profilés creux.

Procédé filtre presse

Ce procédé permet la fabrication de produits aux propriétés plus isotropes que ceux obtenus par les techniques précédentes. Il permet la fabrication de produits dont les densités sont comprises entre 0.2 et 1.7. Cependant le processus de fabrication est long et donc coûteux.

Procédé par injection

Ce procédé remplace, pour des pièces de grande série, le procédé de moulage à la main. Il permet la fabrication de bac à fleurs, pièces de raccordement pour tuyaux d'évacuation, éléments décoratifs, etc.

Les avantages de l'amiante-ciment

L'amiante-ciment présente des avantages très importants pour l'industrie de la construction. En plus de se prêter à la fabrication de multiples formes moulées, il offre une grande résistance à la flexion et à la tension. Sa légèreté permet de prévoir une infrastructure moins importante, ce qui est un facteur de tout premier ordre dans les coûts de construction.

L'amiante étant une matière inerte, les produits en fibro-ciment sont de dimensions stables, ne se fissurent pas, résistent à la corrosion et aux acides, sont imperméables, incombustibles et ne pourrissent pas. En plus de ces propriétés physiques, leurs qualités esthétiques, que peuvent mettre en valeur concepteurs et architectes, améliorent l'apparence extérieure des édifices et du décor intérieur.

Bon nombre des produits d'amiante-ciment contribuent à la prévention des incendies, grâce à leur incombustibilité. Suivant son épaisseur et sa composi-

tion, un produit d'amiante-ciment résistera à des flammes intenses pendant des périodes allant de 11 à 30 minutes.

Soumis au test ASTM-E84, qui classe les risques d'incendie, tels que compilés par « l'Underwriters Laboratories », le produit amiante-ciment a obtenu les résultats suivants :

- propagation de la flamme : nulle ;
- contribution d'énergie à l'alimentation de la flamme : nulle ;
- développement de la fumée : nul.

La plaque d'amiante-ciment, moulée ou préfabriquée, est souvent utilisée, particulièrement en Europe, pour le recouvrement de colonnes et de poutres d'édifices publics. Un assemblage de ce genre peut assurer souvent jusqu'à deux heures de protection à l'infrastructure d'un immeuble, en cas d'incendie. Les tuiles d'amiante-ciment, fréquemment incorporées à la fabrication de plafonds suspendus, résistent efficacement à la flamme, selon l'épaisseur du produit et le système de suspension qui doit conserver sa rigidité dans des conditions de chaleur intense. En résumé, suivant sa densité, l'amiante-ciment peut être employé comme isolant thermique ($d = 0.2$ à 0.5), produit coupe-feu ($d = 0.6$ à 0.9) ou éléments de décor autoportants incombustibles ($d = 1.7$ à 1.8).

Les produits d'amiante-ciment

C'est dans le domaine de la construction que les produits d'amiante-ciment sont le plus utilisés. Comme nous l'avons déjà vu, plus de 70% de la production mondiale de fibres d'amiante est destinée à la fabrication de l'amiante-ciment, sous forme de tuiles, de bardeaux, de plaques planes ou ondulées, de tuyaux, de gouttières, de conduits de ventilation et de plaques polies.

Tuiles et bardeaux

L'utilisation des tuiles d'amiante pour les toitures permet une construction beaucoup plus légère qui ne change pas de masse de façon inacceptable lorsqu'elle est saturée d'eau. Il va sans dire qu'une toiture plus légère est moins coûteuse car elle nécessite une charpente de soutien moins robuste et des fondations moins importantes.

Les tuiles peuvent être produites avec un renforcement métallique interne, donnant une meilleure résistance à l'impact.

Plaques planes et ondulées

Les plaques planes peuvent être utilisées comme lambris pour les murs internes ou externes, pour les cloisons, les plafonds, les abris de chaudières, les hottes d'aspiration, les ventilateurs et les puits de ventilation. Les bâtisses annexes comme les garages ou les abris d'animaux peuvent être construites économiquement et efficacement avec ces plaques planes.

Une très vaste gamme de produits décoratifs sont fabriqués à partir de plaques planes d'amiante-ciment pour satisfaire les besoins de la construction moderne : système de mur-rideau, panneaux de parements, plaques texturées et colorées.

Les plaques ondulées sont très utilisées pour couvrir les toits et les murs des édifices industriels dans tous les pays du monde.

Tuyaux

Les tuyaux d'amiante-ciment sont utilisés depuis plus de cent ans comme conduites d'eau. Ils ont graduellement remplacé les tuyaux de terre cuite et les tuyaux métalliques dans de nombreuses applications grâce à leur résistance à la corrosion, à leur inertie à l'action électrolytique, à leur légèreté, leur résistance à la compression et leur insensibilité aux changements de température. Une de leurs propriétés les plus intéressantes est leur résistance à la formation d'incrustation et de dépôts sur les parois internes.

Gouttières

En plus de leur résistance à la corrosion, des gouttières en amiante-ciment offrent à la fois la stabilité de l'aluminium et la résistance mécanique de l'acier.

Plaques polies

Ces plaques sont produites de la même façon que les tuiles, mais leur surface externe est pigmentée par un procédé céramique, suivi d'une opération de polissage.

Il existe de multiples autres produits en amiante-ciment qu'il serait trop long d'énumérer ici.

Ces produits, très utilisés en Europe, sont méconnus en Amérique du Nord mais pourraient accaparer une part importante du marché avec un programme de promotion adéquat.

Conclusion

Au Canada et aux États-Unis, l'usage de produits en amiante-ciment, dans le secteur de la construction notamment, est relativement récent et peu répandu, alors qu'en Europe, ces matériaux entrent depuis longtemps dans la fabrication d'édifices commerciaux, d'usines, d'écoles et d'immeubles à appartements.


Compte tenu de tous les avantages inhérents à l'utilisation des produits contenant de l'amiante, quant à la prévention des incendies, à la durabilité et à l'esthétique, entrepreneurs, architectes et ingénieurs devraient sans doute envisager un plus grand usage de produits d'amiante dont la base est la fibre d'amiante chrysotile extraite à Asbestos et à Thetford Mines, d'autant plus qu'il y a une volonté de développer la fabrication de produits d'amiante au Québec. 



Photo 1 - Lames par-soleil en amiante-ciment.



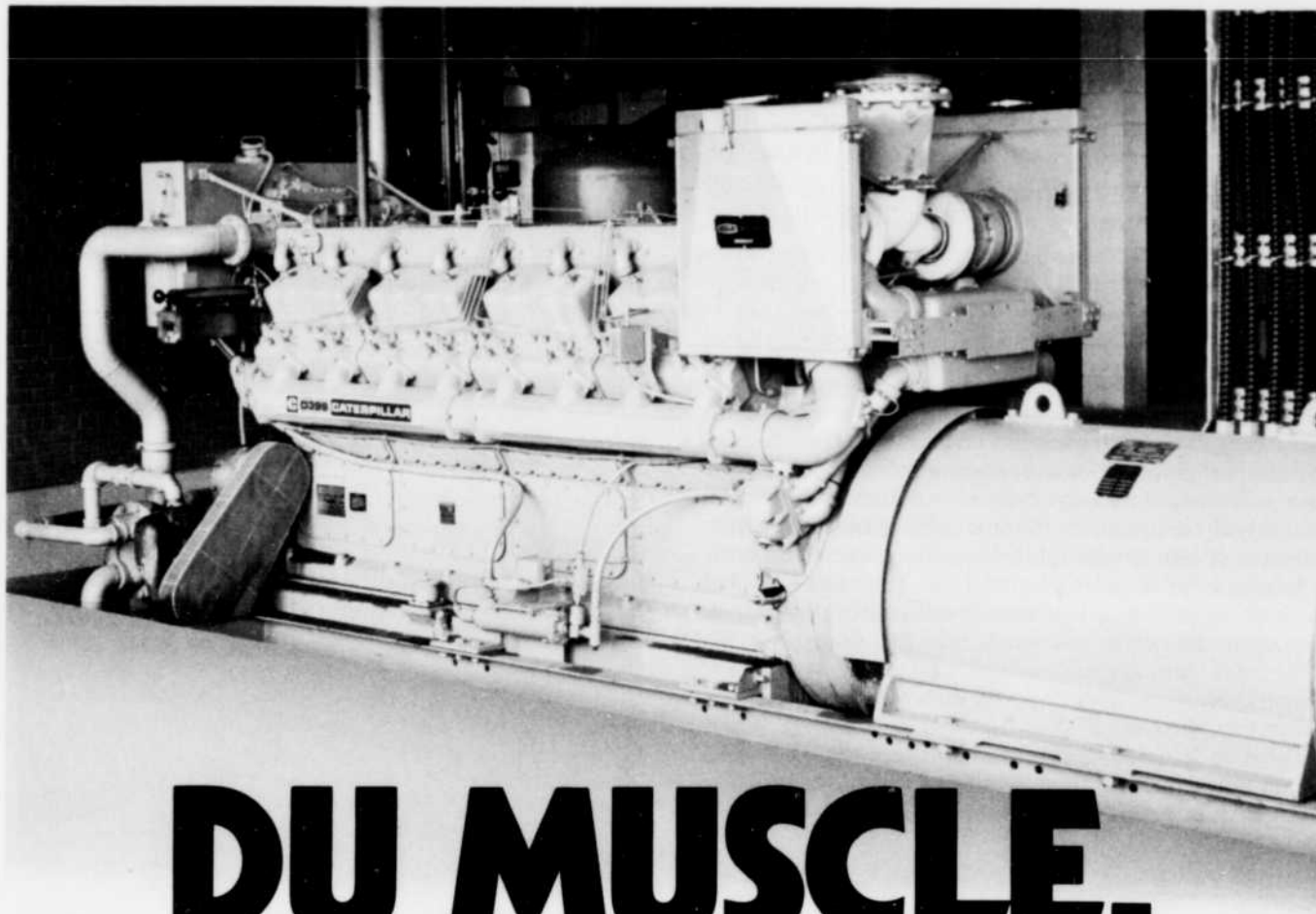
Photo 2 - Bibliothèque Saint-Léonard (Montréal).



Photo 3 - Plaques planes polies en amiante-ciment (Allemagne).

BIBLIOGRAPHIE

1. Carroll-Porczyński, c.z. « *Asbestos* », The Textile Institute, Manchester, U.K., 1956.
2. Berger H. (traduit par R.E. Oesper), « *Asbestos Fundamentals* », Chemical Publishing Co., New York, N.Y., 1963.
3. « *Perspectives de marché* », Bulletin, Association des Mines d'Amiante du Québec, Québec, P.Q., p. 6, Vol. 2, No 1, Jan. 78.
4. « *L'amiante-ciment au service de l'architecture* », Bulletin, Association des Mines d'Amiante du Québec, Québec, P.Q., p. 4, Vol. 1, No 4, Juillet/Août 1977.
5. « *L'amiante, une assurance contre le feu* », Bulletin, Association des Mines d'Amiante du Québec, Québec, P.Q., p. 6, Vol. 1, No 6, Oct. 77.

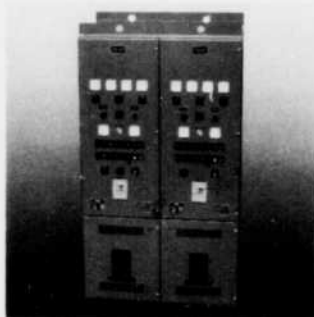


DU MUSCLE. À TEMPS PLEIN.

DE L'ÉNERGIE HEWITT.

Pour du muscle qui ne lâche pas, faites appel à la large gamme de groupes électrogènes diesel Caterpillar et d'armoires de commande Hewitt. Il sont conçus en vue d'assurer un fonctionnement continu — que ce soit comme source d'énergie primaire dans

des endroits isolés ou comme source d'énergie auxiliaire de secours dans l'éventualité de pannes. La capacité de puissance varie entre



12 kw et 930 kw. Hôpitaux, centres de contrôle de la circulation, usines, gratte-ciel, bateaux, usines de traitement des eaux, tous trouvent réponse à leurs besoins chez Hewitt. Et grâce à la qualité de son service et de son système de pièces de rechange,

Hewitt vous assure l'efficacité continue et la haute performance de ses "muscles à plein temps" CAT. Pour plus de renseignements, appelez-nous. Hewitt.



CATERPILLAR
Reg'd.

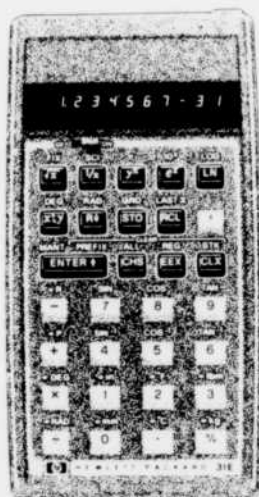
HEWITT ÉQUIPEMENT LIMITÉE

Montréal, Québec, Chicoutimi, Sept Îles, Hull, Val d'Or, Baie James.

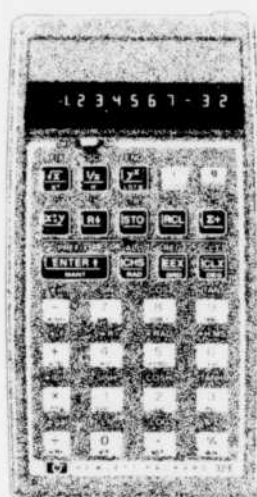
Caterpillar, Cat et  sont des marques déposées de Caterpillar Tractor Co.

UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE HEWLETT-PACKARD.

L'EXCELLENCE À PRIX AVANTAGEUX*



HP31E \$79.95*



HP32E \$119.95*



HP33E \$149.95*

Chacune des calculatrices de la nouvelle gamme scientifique de série E profite des nombreux perfectionnements du génie humain qui ont contribué à sa création. Que vous choisissiez le modèle scientifique HP-31E, ou le modèle scientifique avancé HP-32E, ou encore le modèle scientifique programmable HP-33E, vous profitez d'un surcroît de puissance de calcul, d'un plus grand nombre de possibilités de calcul des fonctions, de

la qualité traditionnelle de Hewlett-Packard... le tout offert à un prix fort avantageux, compte tenu du rendement effectif. Pour démonstration et renseignements supplémentaires, communiquez avec le concessionnaire HP de votre localité ou écrivez à:
Hewlett-Packard, Canada Limitée
Division des calculatrices
275, boul. Hymus
Pointe-Claire, Québec H9R 1G7

*Prix de détail suggérés au Canada

HEWLETT  PACKARD

20859

McDonald's
utilise
le gaz naturel.


Et vous alors?



Vos besoins ne sont peut-être pas ceux de McDonald's. Mais si dans votre industrie, votre petite ou moyenne entreprise, votre établissement, vous utilisez un combustible dans le but de chauffer, transformer, traiter, fabriquer, finir des matériaux ou des produits, ce combustible doit être propre et efficace, accessible en

quantité en toute saison, pendant un grand nombre d'années à venir.

Un appel téléphonique à Gaz Métropolitain, inc., c'est un premier pas vers un avenir rassurant.

 **Gaz Métropolitain, inc.,**
un associé du Québec depuis plus de 20 ans.

LE**OFFRES D'EMPLOI****MOIS****ÉVÉNEMENTS À VENIR****OFFRES D'EMPLOI**

— ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS DE POLYTECHNIQUE, case postale 6079, succursale A, Montréal, Québec H3C 3A7.

Ingénieur diplômé en génie civil ou mécanique
Poste : Directeur général

Située à Québec, une entreprise manufacturière spécialisée dans le domaine de la charpente d'acier, est à la recherche d'un ingénieur bilingue possédant de 10 à 15 années d'expérience pertinente à la fonction de directeur général, avec connaissance dans la fabrication des charpentes d'acier.

Ce poste offre de nombreux avantages, y compris une participation possible dans l'entreprise. Salaire à discuter. Lieu de travail : Ville de Québec.

Les personnes intéressées sont priées de s'adresser à Mme Yolande Gingras, directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique au numéro (514) 344-4764 et de référer au communiqué 73 du Service de placement.

— CARE CANADA (M. Rhéal Cousineau, directeur des programmes) 1312, rue Bank, Ottawa, Canada K1S 5H7. Tél. : (613) 521-7081.

Ingénieurs de projets
Haïti et Cameroun

Pour des projets d'approvisionnement en eau potable, CARE recherche des ingénieurs spécialisés en hydraulique possédant un minimum de deux années d'expérience en pays en voie de développement pour prendre la responsabilité de l'exécution desdits projets.

Les personnes intéressées sont priées de communiquer avec M. Cousineau pour rendez-vous afin de discuter de toutes les conditions se rapportant à ces postes.

— IMPRIMERIE CANADIENNE GAZETTE LTÉE (M. Frank A. Lipari, vice-président et directeur général) case postale 6925 (A), Montréal, Québec H3C 3L4.

Ingénieur surveillant

Une importante compagnie d'imprimerie de la région montréalaise recherche un directeur du service de l'entretien de l'outillage, des bâtiments et des terrains. Le candidat choisi possèdera un diplôme en génie mécanique et, préférablement, de l'expérience dans l'industrie de l'imprimerie ou domaine équivalent, ainsi qu'une connaissance du français et de l'anglais.

Conditions salariales selon qualifications et expérience.

Les personnes intéressées sont priées de transmettre leur curriculum vitae aux soins de M. Frank A. Lipari.

— ASSELIN, BENOIT, BOUCHER, DUCHARME, LAPOINTE INC., Experts-conseils (M. Normand Hickok, responsable du recrutement) 85 ouest, rue Ste-Catherine, suite 1500, Montréal, Québec H2X 3P4. Tél. : (514) 282-9650.

1) **Ingénieur en instrumentation et contrôle de procédé**, bilingue, possédant environ cinq années d'expérience. Cet ingénieur aura œuvré dans le domaine du contrôle d'un ou de plusieurs des procédés suivants : chaudières, brûleurs, turbine à gaz, traitement des eaux, génie nucléaire.

2) **Ingénieurs en électricité**, bilingues, possédant de cinq à huit années d'expérience pour évaluation des schémas de contrôle en fonction des devis et des besoins des clients. Expérience pratique industrielle, vérification et mise en service d'équipement. Travail de chantier.

3) **Ingénieurs en mécanique** possédant un minimum de cinq années d'expérience et ayant des connaissances en thermodynamique, en échangeurs de chaleurs, tuyauterie et vases sous pression. De plus, les candidats devront être familiers avec les normes ASME et ANSI.

Pour de plus amples renseignements sur ces postes, les intéressés sont priés de communiquer avec M. Hickok.

— BEAULIER INC. (M. Maurice Beaudet, ing., président directeur général) 6955, boulevard Taschereau, bureau 208, Brossard, Québec J4Z 1A7. Tél. : (514) 462-1072.

Ingénieur — ventilation industrielle

Ce bureau d'ingénierie, spécialisé dans la conception et l'installation de systèmes de traitement et de distribution d'air pour l'industrie, est à la recherche d'un ingénieur possédant un minimum de trois années d'expérience comme concepteur de « ventilation industrielle » dans l'industrie ou chez un entrepreneur en ventilation. Le titulaire du poste aura à établir et maintenir un contact suivi avec les ingénieurs de projets d'un secteur de l'industrie tel que les pâtes et papiers, la métallurgie, etc. ; à concevoir des systèmes aérauliques et à les vendre ; à surveiller l'installation et la mise en marche.

Rémunération : sous forme de partage des bénéfices bruts avec régime d'avances permettant d'établir un revenu en fonction du rendement personnel. Possibilité d'association.

Pour de plus amples renseignements, les personnes intéressées sont priées de communiquer avec M. Beaudet.

— SOCIÉTÉ D'ALUMINIUM REYNOLDS (Canada) LIMITÉE (M. René Grégoire, surveillant du personnel) 290, rue St-Laurent, Cap-de-la-Madeleine, Québec G8T 7W9. Tél. : (819) 375-4961.

Ingénieur d'entretien — génie électrique

Cette entreprise, dont l'activité principale est le laminage, est à la recherche d'un ingénieur bilingue, diplômé en génie électrique et possédant environ deux années d'expérience.

Sous la direction de l'ingénieur d'usine, le titulaire du poste doit faire le travail de préparation technique des projets d'entretien, effectuer les recherches pour la diminution des pannes à trop grande récurrence, de même que pour l'amélioration de l'équipement en vue d'une plus grande productivité.

Lieu de travail : Cap-de-la-Madeleine avec déplacements occasionnels. Salaire à discuter.

Tout ingénieur qui acceptera un des postes offerts dans cette liste est prié d'en avvertir le directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique, Mme Yolande Gingras, téléphone : (514) 344-4764

— **CONSOLIDATED-BATHURST LIMITÉE** (Mme Marjorie Buchanan, service du personnel) 800 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H3B 1Y9. Tél. : (514) 875-2160.

Recherche et Services techniques — Montréal

Spécialistes des papiers pour emballage, cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur possédant un minimum de cinq années d'expérience dans les domaines de la fabrication par machine à papier kraft ou par machine à onduler et du traitement par coucheuse ou encore dans les procédés scientifiques de fabrication des papiers.

Le titulaire relèvera du directeur de la recherche et des services techniques, groupe pâtes et papiers, fabrication. Il devra résoudre des problèmes de nature technique et contrôler des programmes visant à assurer la qualité des produits. Le poste exige de nombreux déplacements professionnels.

Les candidats intéressés sont priés de communiquer avec Mme Buchanan.

— **SOCIÉTÉ RADIO-CANADA** (M. Richard L'Ecuyer, agent de Dotation) 1400 est, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H2L 2M2. Tél. : (514) 285-2160.

Analyste — génie industriel

Cette société recherche un ingénieur, diplômé en génie industriel, possédant un minimum de cinq années d'expérience dans l'organisation du travail et de la recherche opérationnelle pour agir comme conseiller dans les domaines de la gestion, de l'exploitation et de l'organisation. Le poste offert est de nature permanente.

Les conditions salariales seront établies selon les qualifications et l'expérience.

Les personnes intéressées sont priées de communiquer avec M. L'Ecuyer.

— **GEOFFROY-VALOIS LTÉE**, 1505, rue de l'Industrie (case postale 21), Beloeil, Québec J3G 4S5. Tél. : (514) 467-0283.

Cette entreprise, spécialisée en machinerie de construction, recherche un ingénieur, diplômé en génie mécanique et possédant un minimum de trois années d'expérience.

Le titulaire du poste sera membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec et travaillera en collaboration avec les administrateurs, les ingénieurs, les dessinateurs, le personnel d'atelier et les clients de l'entreprise. Il aura la responsabilité, entre autres, des études, calculs et dessins des pièces ou machines à manufacturer; du contrôle de la qualité des pièces usinées et de procédures de soudage; de l'approbation des projets, des plans et devis.

Lieu de travail: Beloeil, près de la Transcanadienne. Conditions salariales: suivant qualifications et expérience avec gamme intéressante d'avantages sociaux.

Les personnes intéressées sont priées de communiquer avec M. J.P. Geoffroy ou M. J.P. Lemarquis, ing., à l'adresse ci-haut mentionnée.

— **WOODS, GORDON & CIE**, Conseillers en administration (M. J.M.A. Lachance, ing., associé) 630 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H3B 1T9. Tél. : (514) 875-5835.

Contrôleur de production

Pour une entreprise de la banlieue de Montréal, ce bureau recherche un ingénieur, diplômé en génie mécanique ou industriel, possédant de trois à cinq années d'expérience, pour prendre la responsabilité de la planification de la production de composantes de fenêtre en bois et d'armoires de cuisine selon les normes de quantité et de qualité déterminées par le Directeur d'usine.

Conditions salariales: de \$18,000 à \$23,000 annuellement, avec les bénéfices marginaux normalement alloués aux ingénieurs de cette catégorie.

Les personnes intéressées sont priées de faire parvenir leur curriculum vitae aux soins de M. Lachance.



OÙ L'AVENIR C'EST AUJOURD'HUI

La Compagnie Minière Québec Cartier exploite une mine à ciel ouvert et un concentrateur d'une capacité annuelle de 18 millions de tonnes à Mont-Wright, un chemin de fer de plus de 400 km et des installations portuaires à Port-Cartier. De plus, elle gère les installations minières de Sidbec-Normines Inc. à Fire-Lake et à Gagnon.

INGÉNIEURS INDUSTRIE MINIERE POUR GAGNON ET FERMONT

Nous avons présentement plusieurs postes intéressants à combler à nos différentes opérations minières situées à Mont-Wright, Lac-Fire et Lac-Jeannine.

Nous recherchons des diplômés en Génie Mécanique, Électrique, Industriel et Métallurgique, possédant au moins trois (3) ans d'expérience industrielle reliée aux opérations, aux projets, aux procédés, au génie d'usine, à l'entretien et à la conception.

Connaissance du français et de l'anglais requise.

En plus d'un revenu élevé, ces emplois sont accompagnés d'avantages sociaux tels que :

- VACANCES : 4 semaines après 3 ans et boni de vacances après 2 ans.
- ASSURANCE — VIE — SANTÉ — SALAIRE : payée entièrement par la Compagnie.
- RÉGIME DE RETRAITE : payé entièrement par la Compagnie.
- SOINS DENTAIRE : payés par la Compagnie.
- RÉGIME D'ÉPARGNE : La Compagnie contribue le même pourcentage prélevé sur le salaire de l'employé.
- BONI DE VIE CHÈRE : (\$83.00) par mois ajustable à l'indice du coût de la vie.
- ALLOCATION NORDIQUE : \$150.00 par mois pour personnes mariées et \$135.00 pour célibataire.
- MAISONS ou logements de première classe à prix modique avec possibilité d'achat à Fermont.
- SERVICES publics et éducatifs complets.
- FRAIS de déménagement payés.

Les candidats intéressés doivent faire parvenir leur curriculum vitae au :

Superviseur général de l'embauchage
La Compagnie Minière Québec Cartier
Port Cartier, Québec, G5B 2H3

— **LES INDUSTRIES SMI**, Division des Entreprises Caelter Ltée (M. Robert Tremblay, ing.) 2055, avenue Bennett, Montréal, Québec H1V 2T3. Tél. : (514) 255-2883.

Ingénieur de projet

Concepteur et fabricant principalement de véhicules pour l'entretien des aéroports, cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur bilingue, diplômé en génie mécanique, possédant environ trois années d'expérience.

Sous la direction de l'ingénieur en chef, le titulaire du poste doit prendre charge d'un projet dès le début de la conception et le mener à terme. De plus, il devra développer une expertise des systèmes de mousse sous pression (foam system).

Lieu de travail : Montréal avec déplacements occasionnels. Conditions salariales selon qualifications et expérience.

Les personnes intéressées sont priées de faire parvenir leur curriculum vitae aux soins de M. Tremblay.

— **LOWNEY'S LIMITÉE** (M. Gilles Lagarde) case postale 1400, Sherbrooke, Québec J1H 5M1. Tél. : (819) 569-7461.

Ingénieur de projet

Cette compagnie manufacturière de confiserie, de renommée nationale, recherche, pour son usine de Sherbrooke, un ingénieur bilingue, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, diplômé en génie mécanique de préférence et/ou possédant de deux à trois années d'expérience pertinente.

Sous l'autorité du directeur du génie, le titulaire du poste est responsable de l'élaboration de nouveaux projets, de l'estimation des coûts, en plus de l'installation et de la modification de nouvelles machineries ou de machineries déjà en place.

Le salaire est fonction des qualifications et de l'expérience. Une gamme complète d'avantages sociaux sont offerts.

Les personnes intéressées sont priées de faire parvenir leur curriculum vitae aux soins de M. Gilles Lagarde.

ADMINISTRATEUR

Banque
Canadienne
Nationale

M. J.V. Raymond Cyr, ing.



M. Germain Perreault, président du conseil, président et chef de la Direction de la Banque Canadienne Nationale est heureux d'annoncer la nomination de M. J.V. Raymond Cyr, ing. au conseil d'administration de la Banque.

Originaire de Montréal, M. Cyr est vice-président exécutif de Bell Canada pour le Québec. Il est également membre du Conseil d'administration de plusieurs sociétés et organismes importants dont le Conseil des sciences du Canada, les fonds mutuels Eaton-Bay, la Chambre de commerce de Montréal et la Chambre de commerce du Canada.

SURINTENDANT DE L'ENTRETIEN ÉQUIPEMENT DE PRODUCTION INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE

Pour le compte d'une société québécoise très prospère, œuvrant dans le secteur manufacturier et ayant des opérations importantes au Québec, nous recherchons un ingénieur mécanique, membre de l'OIQ, pour assumer l'entière responsabilité de la Division Entretien reliée à l'Équipement de Production, pour son usine de Montréal, comptant près de 1,500 personnes.

Le mandat porte sur tout ce qui concerne l'entretien préventif et les coûts d'entretien à l'usine, l'administration d'un budget annuel d'environ trois (3) millions, ainsi que la direction et la coordination du travail d'environ 60 personnes y compris le personnel de supervision.

Le titulaire sera spécifiquement responsable de la préparation et de la justification des programmes d'entretien préventif et des projets visant à réduire les coûts d'entretien concernant la machinerie et l'équi-

pement de production (haute vitesse). Il aura également la supervision et la coordination des travaux de construction ou d'expansion s'il y a lieu, la planification des arrêts majeurs et les réparations importantes à effectuer à l'équipement. Il devra s'intéresser aux différentes études visant à accroître la rentabilité et le rendement de la machinerie par l'application rationnelle des méthodes modernes d'entretien préventif.

Le candidat idéal est diplômé en génie mécanique et possède environ de 8 à 10 ans d'expérience pratique dans le secteur de l'entretien, de préférence dans l'industrie manufacturière, y compris quelques années au niveau de la supervision. Le bilinguisme est souhaitable et le salaire sera en fonction de l'expérience pratique des postulants. Si intéressé, veuillez communiquer confidentiellement avec G. Maurice Gilbert, ing., vous référant au dossier MG-473.



G. MAURICE GILBERT & ASSOCIÉS
ASSOCIATES

400 ouest, boul. Dorchester, Suite 1204,
Montréal, Québec, H2Z 1V5,
Tel. (514) 861-9457

Conseillers en Orientation et Ressources Humaines

Maintenant, des tonnes de choix de condenseurs à air.



Nouveaux modèles à 8 ventilateurs, jusqu'à 125 tonnes, élargissent encore davantage l'éventail de modèles KeepRite.

Il y a maintenant un condenseur à air KeepRite pour tout type d'installation.

La gamme Modulaire KDC maintenant plus large: condenseurs à entraînement direct et ventilateurs à hélice, avec direction d'air verticale, disponibles maintenant avec toutes les combinaisons de ventilateurs: 1, 2, 3, 4, 6 ou 8. Puissance allant de 8 à 125 tonnes. Opération intermittente des ventilateurs et démarreur magnétique, disponibles en option. Un régulateur de vitesse du ventilateur est également disponible.

KCC silencieux: 4 à 90 tonnes.

Les ventilateurs centrifuges KCC réduisent le bruit, respectant l'environnement des immeubles résidentiels. Excellentes

possibilités de récupération de chaleur. Ventilateur à entraînement à courroie permettant de satisfaire les exigences variées du système. Sortie d'air verticale ou horizontale.

KCV à entraînement à courroie: 5 à 90 tonnes.

Les modèles KCV offrent 1, 2 ou 3 ventilateurs à hélice, avec entraînement à courroie; un choix de moteurs pour les applications spéciales; sortie d'air verticale ou horizontale.

KCH à entraînement direct: 2 à 10 tonnes.

Le choix le plus complet dans cette gamme de puissances. Parfait pour moderniser les systèmes de refroidissement des crémeries et des dépanneurs. Ventilateur à hélice, sortie d'air horizontale.

Condenseurs évaporatifs EC: 30 à 100 tonnes.

Construction solide avec surface primaire galvanisée à chaud. Parfait pour la réfrigération et l'air climatisé. Pour tous les réfrigérants standards.

Pour obtenir des fiches techniques, des dépliants ou des soumissions,

entrez en communication avec le bureau de KeepRite le plus près de chez vous:

KeepRite Products Limited, C.P. 460, Brantford, Canada N3T 5P4. Bureaux de vente KeepRite: Halifax, Montréal, Ottawa, Toronto, Hamilton, Brantford, London, Winnipeg, Calgary, Edmonton et Vancouver.

KeepRite

HEWITT

SEPTEMBRE-OCTOBRE 1978 — 45

Notre affaire? Les chariots élévateurs.

Ventes

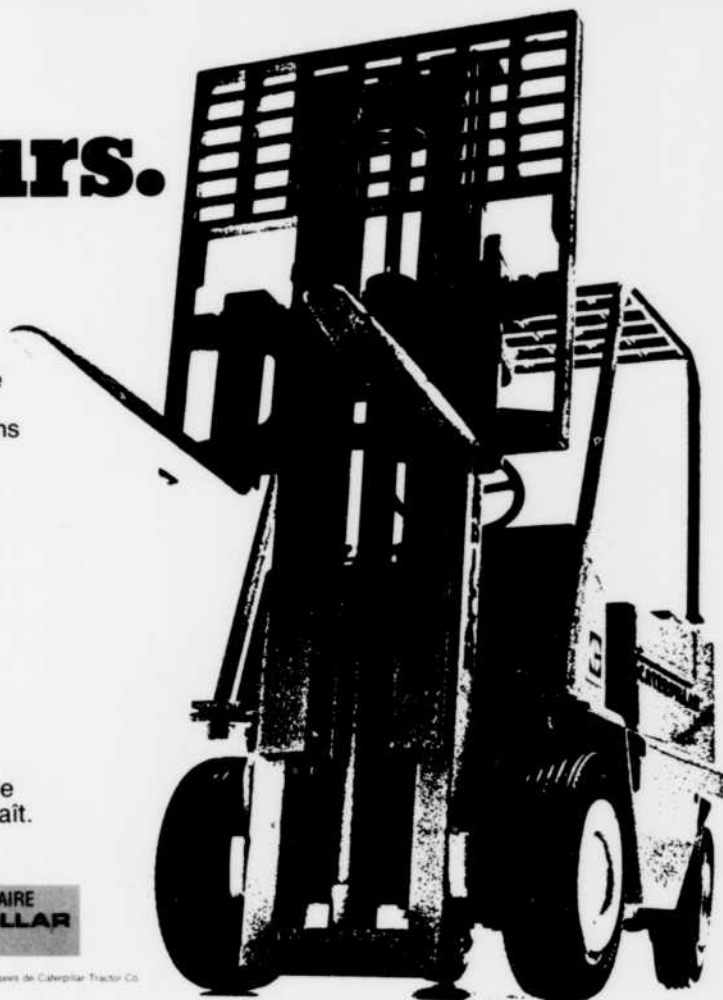
Nos représentants travaillent de concert avec d'autres spécialistes de l'utilisation des chariots tels que des ingénieurs afin de préciser vos besoins en matière d'équipement et d'accessoires. Nos chariots élévateurs ont des capacités de 2 000 lb (1 000 kg) à 60 000 lb (27 000 kg). Grâce à Hewitt, vos opérations atteignent un maximum de rendement. La vente de chariots élévateurs, ça nous connaît.

Location

Un de nos chariots élévateurs peut être au travail chez vous en quelques heures à peine. Et vous obtiendrez de nous la même qualité d'analyse de vos besoins que si vous l'achetiez. Location à la journée, à la semaine ou au mois. Équipement d'entrepôt, d'usine et chariots tous-terrains. Essence, diesel, électricité. La location de chariots élévateurs, ça nous connaît.

Service

Que vous achetiez ou que vous louiez votre chariot élévateur, vous êtes toujours secondé par notre service d'entretien et de réparation qui est relié au système de repérage de pièces le plus important et le mieux articulé de l'industrie — le système Caterpillar. L'entretien des chariots élévateurs, ça nous connaît.



Hewitt Equipement Limitée
5001 Route transcanadienne,
Pointe-Claire, Québec, H9R 1B8
(514) 697-6911 Téléx: 058-21625

Québec, Chicoutimi,
Sept-Îles, Hull,
Val d'Or, Baie James

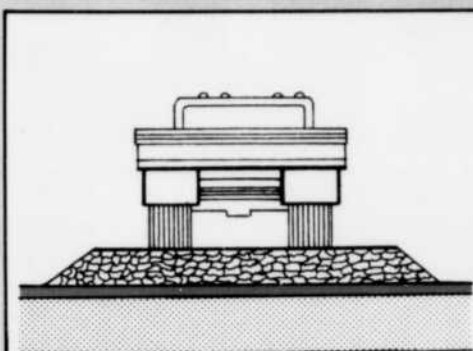


Caterpillar, Cal et  sont des marques déposées de Caterpillar Tractor Co.

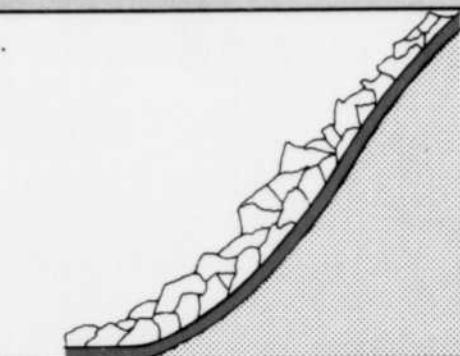
L'INGÉNIEUR

tex-el inc.

485, Des Erables, St-Elzéar,
Beauce, Québec G0S 2J0 (418) 387-5910



TERRASSEMENT



PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

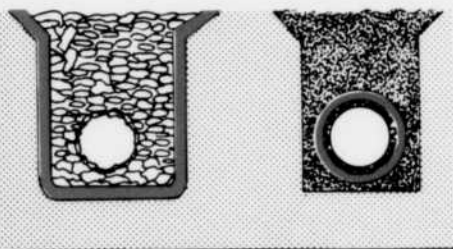


texelisez

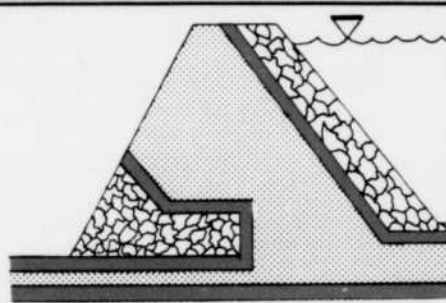
VOS

travaux de génie civil

texel membrane synthétique non tissée,
aiguilletée à fibres 100% polyester



DRAINAGE



BARRAGE EN TERRE

ROUTES EN
TOUT GENRE,
VOIES FERRÉES,
CHEMINS D'ACCÈS, ETC.
DIGUES,
BATARDEAUX,
CANAUX, BASSINS, ETC.
TRAVAUX: AÉROGARES,

TERRAINS DE JEUX,
LACS ARTIFICIELS,
TERRASSEMENT,
DRAINAGE, PROTECTION
CONTRE L'ÉROSION,
TRAVAUX MARITIMES,
HYDRAULIQUES ET DE
BARRAGE EN TERRE

MEMBRE ASSOCIÉ DE



l'association des
constructeurs de routes
et grands travaux
du Québec

Veuillez s'il vous plait nous faire parvenir plus d'informations au
sujet de la membrane Texel

Nom _____ Titre _____

COMPAGNIE _____

RUE _____

VILLE _____ CTE _____ CODE REGIONAL _____

Faire parvenir à : Directeur Commercial, Tex-El Inc.,
485 Des Erables, St-Elzéar, G0S 2J0, Beauce, Québec

Événements à venir

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Cours intensif sur l'AMIANTE CHRYSOTILE

13 au 17 novembre 1978

Un cours intensif sur l'amiante chrysotile sera donné à l'Université de Sherbrooke, du 13 au 17 novembre 1978, sous les auspices de la Faculté des sciences appliquées de l'Université de Sherbrooke et en collaboration avec la Direction générale de l'éducation permanente de cette même institution.

Cours de vulgarisation plutôt que de spécialisation, ce cours vise à faire connaître cette richesse naturelle du Québec, peu ou mal connue, et s'adresse à toute personne intéressée à l'un ou l'autre des divers aspects du phénomène amiante : scientifique, économique, social, sanitaire, technique, industriel, commercial, etc.

Le nombre de participants étant limité à 30, on aura tout intérêt à se procurer *le plus tôt possible* le dépliant « Cours intensif sur l'amiante chrysotile » contenant tous les renseignements nécessaires de même qu'un coupon-réponse en vue de l'inscription.

On obtient ce dépliant en s'adressant à : DGEP / Amiante chrysotile, Local 200, Pavillon des Arts, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec J1K 2R1.

UNIVERSITÉ LAVAL Faculté des Sciences et de Génie

Journée d'études
Techniques de sautage
Pavillon Pouliot, Québec
3 novembre 1978

Organisée par la Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval, cette journée d'études sur les techniques de sautage en génie civil se tiendra au Pavillon Pouliot de l'Université Laval, le 3 novembre 1978.

Les présentations sont regroupées comme suit :

- 1) Vibration de sautage / Techniques de contrôle en zone urbaine / Étude de cas
Conférenciers : France Goupil, ing.
Géophysique —
France-Québec Inc.

Wilfrid Comeau
Hydro-Québec
- 2) Routes / Projets de construction — Sautages près des utilités publiques — Conception et exécution / Prédécoupage et coupes de roc

Conférenciers : Réal L'Heureux, ing.
Rely Construction Inc.
Pierre Michaud
CIL — Québec

- 3) Carrières / Exploitation, coûts et contrôle

Conférencier : Pierre Fortin
Francon Limitée

- 4) Excavations d'envergure / Projets hydro-électriques / Techniques de sautage en milieu urbain, démolition

Conférenciers : Jean-Jacques Liard, ing.
Dupont — Montréal

Pour de plus amples renseignements, les personnes intéressées sont priées de communiquer avec :

- M. Jean-Marie Mathieu
Ministère des Transports
Québec
Téléphone : (418) 643-8577
- Professeur Marc-Denis Everell
Mines et Métallurgie
Université Laval
Québec
Téléphone : (418) 656-7230

Entre la théorie et la pratique, il y a la Banque Royale.

La croissance d'un bureau ou d'une petite entreprise dépend surtout d'une saine gestion et d'un solide appui financier. Vous le savez aussi bien que nous. C'est pourquoi notre Programme d'aide financière aux professionnels comprend aussi bien des conseils judicieux que l'argent qu'il vous faut pour maintenir ou agrandir votre bureau.

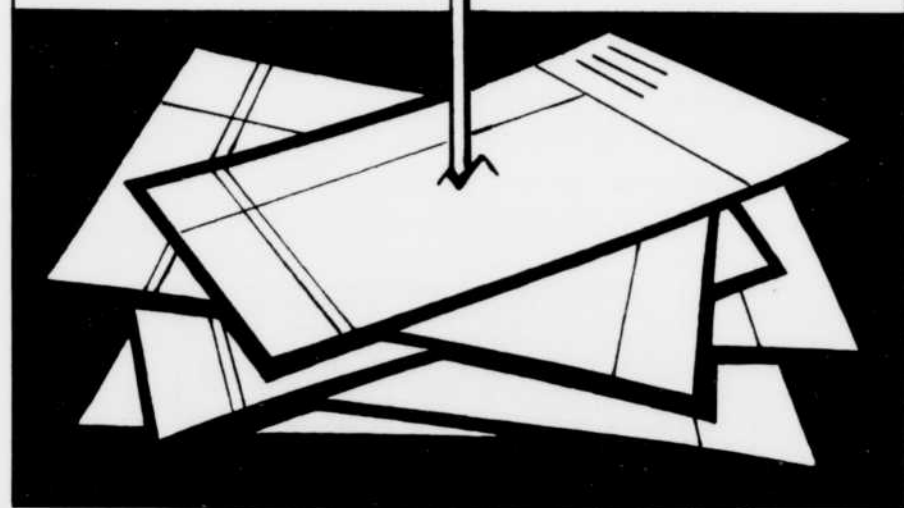
Selon les circonstances, nous pouvons vous offrir jusqu'à \$50,000 comptant. Nos prêts prévoient des termes annuels à versements rotatifs qui fluctuent selon votre liquidité.

Nos prêts de capital ont un calendrier de versements flexible et des termes s'échelonnant jusqu'à 10 ans. Aussi, ce programme vous propose en option une assurance-vie qui couvre intégralement votre emprunt.

Ce Programme est offert à tous les professionnels indépendants dans chacune de nos succursales. Renseignez-vous et découvrez comment passer de la théorie à la pratique.



BANQUE ROYALE





**COMPAGNIE NATIONALE
DE FORAGE ET SONDRAGE INC.**
1130 OUEST, RUE SHERBROOKE
MONTRÉAL H3A 2R5
TÉL. : (514) 288-1177

Études géotechniques, géologiques, sismiques
Sondages et forages
Contrôle qualitatif : sols, béton, asphalte, métaux
Laboratoires : eaux, sols, matériaux
Assurance qualité, métallurgie, corrosion

Fondée en 1937



labo s.m. inc

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES - CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

Sondages - Forages Sols - Béton - Asphalte

ENVIRONNEMENT

76, 12e Avenue Sud
SHERBROOKE J1G 2V4
TÉL. 819-669-9051

945 Taschereau
LONGUEUIL J4K 2X2
TÉL. 514-527-3881



mon-ter-val inc.

société d'expertise

Géotechnique

Géologie

Mécanique des Roches

Contrôle des matériaux

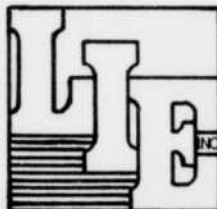
Contrôle de la pollution

1470 rue mazurette, montréal, qué. h4n 1h2

tél. (514) 382-5110

**LABORATOIRE
D'INSPECTION
& D'ESSAIS INC.**

Géotechnique / Contrôle Qualitatif
SONDAGES-ÉTUDES/SOLS-BÉTON-ASPHALTE-ACIER



6775, rue Bombardier
C.P. 310, Succ. St-Michel
Montréal, H1P 2W2
Tél.: (514) 326-0130

3380, boul. Hamel
C.P. 9220, Succ. Ste-Foy
Ste-Foy, G1V 4B1
Tél.: (418) 872-3381

Répertoire des annonceurs

- 43 Banque Canadienne Nationale
- 47 Banque Royale
- 26 Beaulier Inc.
- 23 Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc.
- 13 Berol Limitée
- 23 Bouthillette, Parizeau & Associés
-
- C III Canadian Johns-Manville
- C II Canron Inc.
- 23 Carmel, Fyen, Jacques & Associés
- C IV Ciments Canada Lafarge Ltée
- 2 Ciments St-Laurent
- 4 Ciment Québec Inc.
- 48 Compagnie Nationale de Forage & Sondage
- 23 Contrôle Technique Appliqué Ltée
- 26 Coopérative étudiante de Polytechnique
-
- 48 Desjardins + Sauriol & Associés
- 23 Duval & Duval Inc.
-
- 40 Gaz Métropolitain, Inc.
- 26 Géophysique France-Québec Inc.
- 43 G. Maurice Gilbert
-
- 38-45 Hewitt Equipement Limitée
- 39 Hewlett-Packard, Canada Limitée
-
- 14 Jenkins Bros. Limited
-
- 44 KeepRite Products Limited
-
- 48 Laboratoire d'Inspection & d'Essais Inc.
- 48 Labo S.M. Inc.
- 42 La Compagnie Minière Québec Cartier
- 26 Lalonde, Valois, Lamarre, Valois & Associés, Inc.
- 12 Les Laboratoires Industriels & Commerciaux Ltée
-
- 48 Mon-Ter-Val Inc.
-
- 32 Société pour l'expansion des exportations
-
- 46 Texel Inc.
- 24-25 The Steel Co. of Canada Limited
- 26 Trudeau, Gascon, Lalancette et Associés
-
- 23 Verreault Frontenac Inc.
-
- 30-31 Xérox du Canada Limitée



**Desjardins+Sauriol
& Associés**

Ingénieurs-conseils

1200 OUEST, BOUL. ST-MARTIN, LAVAL H7S 2E4 (514) 384-5660



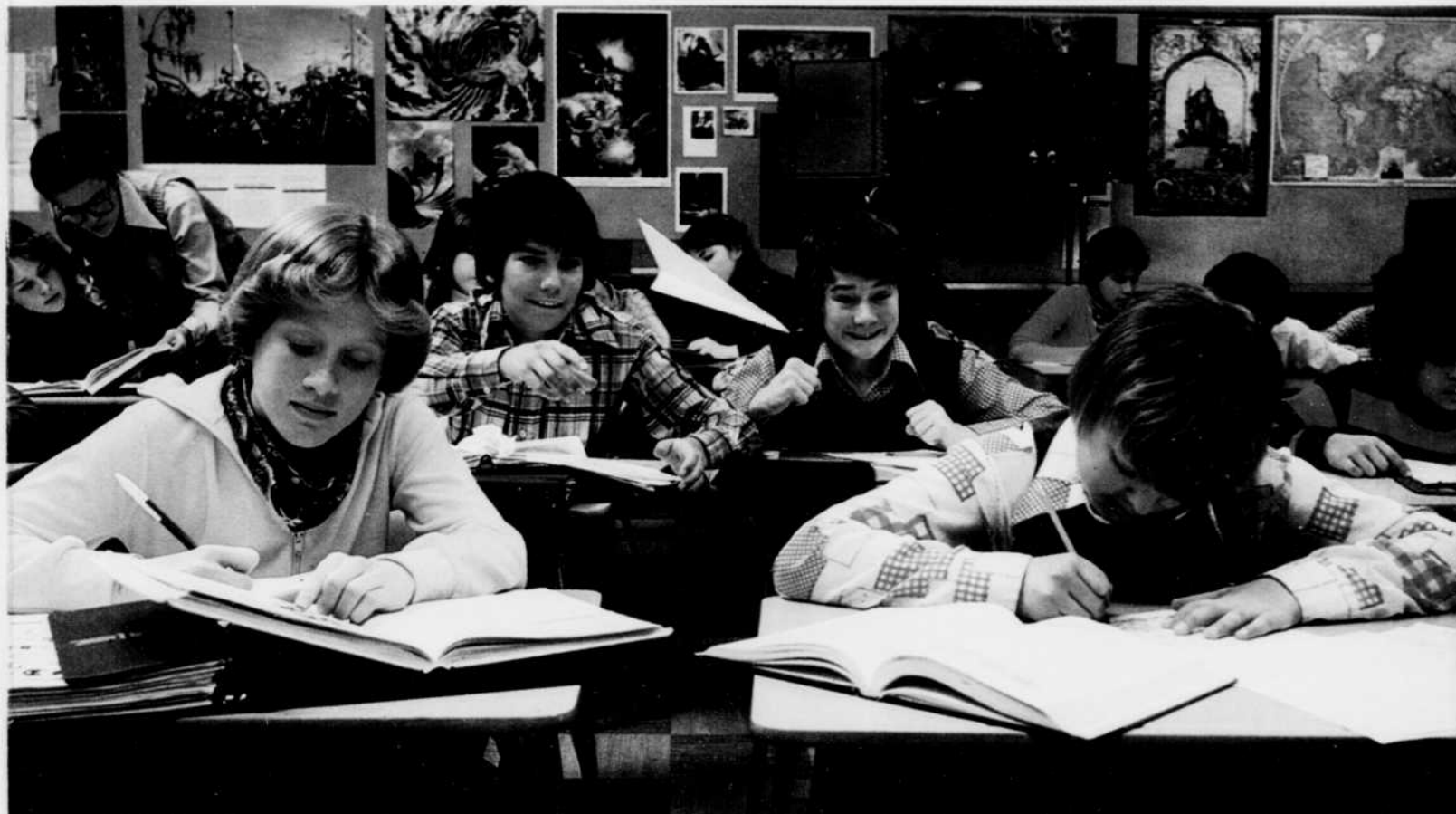
Une mise en oeuvre, une installation faciles et rapides abaissent le coût des systèmes à conduits en fibre de verre.



Souple, robuste, léger, Micro-Aire est le conduit isolant le plus facile à installer.



Les fuites d'air sont pratiquement impossibles dans un système de conduits en fibre de verre convenablement installé.



Le conduit en fibre de verre Johns-Manville assure le silence d'un système d'aération, en réduit le coût et la dépense d'énergie.

Aucun doute là-dessus: la climatisation augmente le confort ambiant. Faut-il pour cela que le fonctionnement en soit tapageur? Non. Et c'est l'une des raisons pourquoi les designers du complexe collégial Lester B. Pearson ont choisi le conduit Micro-Aire^{MD} de J-M.

Ce conduit en fibre de verre est exceptionnel pour son absorptivité acoustique. Les bruits importuns produits par l'équipement mécanique sont atténués. La diaphonie est moins perceptible et le craquement des tôles est éliminé.

Micro-Aire est aussi facile à instal-

ler qu'un conduit de métal sans être plus coûteux. De fait, dans le projet Pearson, il a permis des économies substantielles par rapport au métal.

En éliminant les fuites d'air, Micro-Aire permet également à votre système de climatisation de consommer moins d'énergie.

Micro-Aire, c'est le nouveau moyen de distribuer l'air efficacement. Comptez sur nous pour vous épauler à tous les stades de votre installation, qu'il s'agisse d'une école, d'un complexe commercial ou d'un édifice de bureaux. Nous vous aiderons à évaluer les besoins et

vous conseillerons dans la préparation du design et du devis.

Micro-Aire — un autre produit de Johns-Manville, la compagnie à capacité d'isolation intégrale.

Canadian Johns-Manville, Parc industriel de Brossard, 3000, boul. Industriel, Brossard, Québec, J4T 3H5.



Johns-Manville

"PARLEZ-EN AU CONSEILLER COMMERCIAL DE CIMENTS CANADA LAFARGE"



Grâce au Service d'Assistance et d'Information Technique de Ciments Canada Lafarge, nos conseillers commerciaux sont des alliés extrêmement précieux.

Chez Ciments Canada Lafarge, nous ne nous bornons pas à vous fournir une gamme extrêmement complète de ciments de la plus grande qualité. Grâce à notre Service d'Assistance et d'Information Technique — fruit de notre vaste expérience internationale dans le domaine complexe des ciments et des bétons — il y a peu de problèmes techniques que nous ne puissions vous aider à résoudre. *Rapidement et efficacement.*

Des suggestions sur le choix et l'utilisation des ciments...

Quelle variété de ciment choisir pour la construction d'ouvrages massifs? Comment placer le béton dans des conditions inhabituelles? Comment améliorer la performance du béton en milieu corrosif? Les conseillers commerciaux de Ciments Canada Lafarge, grâce à leur formation poussée et leurs solides connaissances, peuvent répondre à toutes ces questions — et bien d'autres encore — *sur simple demande.*

De plus, ils mettent à votre disposition une foule d'études, d'analyses, de fiches et de dossiers qui constituent pour vous une banque de renseignements extrêmement complète. S'il y a lieu, ils peuvent même consulter les nombreux spécialistes à l'emploi de Lafarge. Chimistes, ingénieurs, chercheurs, etc. Pour ces experts, tout ce qui se rapporte au ciment et au béton n'a vraiment plus de secrets!

...aux conseils techniques?

Voulez-vous des suggestions sur l'équipement qui convient le mieux à votre entreprise? Sur les méthodes de production les plus efficaces? Sur l'analyse des agrégats et des additifs?

Ciments Canada Lafarge est le premier producteur de ciment d'Amérique du Nord et l'un des plus importants du globe. En devenant client de Ciments Canada Lafarge, vous vous associez à une entreprise qui, du fait même de son expérience, de ses ressources en personnel et de son envergure — est la plus apte à vous apporter l'aide appropriée... *celle que vous désirez!*

Quel que soit votre problème, quels que soient vos besoins, parlez-en au conseiller commercial de Ciments Canada Lafarge. Il met à votre disposition le Service d'Assistance et d'Information Technique, un programme d'aide extrêmement complet qui bénéficie — *et vous fait bénéficier* — des compétences des plus grands spécialistes en ciment du monde et de toute l'expérience internationale de Ciments Canada Lafarge.



*...pour bien
des raisons*

Ciments Canada Lafarge Ltée

Bureau régional: 625, avenue du Président Kennedy / 849-5621
Commandes de ciment: Montréal: 632-8810 / Québec: 653-2855
Province de Québec: 1-800-361-9134 (sans frais d'appel interurbain)