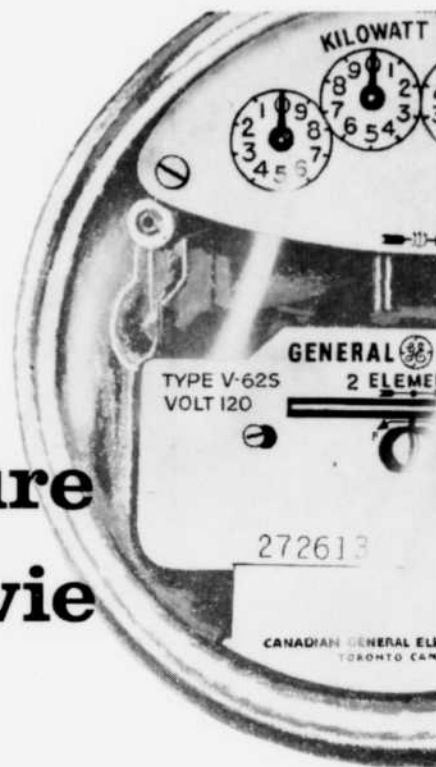


L



Le compteur qui mesure notre mode de vie



Sa fonction est de mesurer les kilowatt-heures... leur augmentation est l'indice du rôle que joue l'électricité dans notre vie afin de la rendre plus facile et plus agréable.

Plus que tout autre facteur l'abondance d'électricité de prix modique contribue, probablement, à relever notre standard de vie. Elle répond aux exigences de l'industrie et des affaires... elle accélère la production... elle crée d'innombrables nouveaux emplois pour les canadiens.

Le kilowatt-heure est peu coûteux... mais pensons un peu à ce qu'il peut accomplir... au foyer l'électricité de bas prix apporte tout un monde de commodités, de confort, de services illimités. Au simple toucher d'un interrupteur l'éclairage soi-

gneusement projeté confère un charme, une ambiance tout particuliers à chaque pièce. Dans la cuisine et la buanderie les appareils ménagers économisent temps et travail à la ménagère. La télévision ainsi que de nombreux produits dans le même domaine pourvoient à nos plaisirs et nos divertissements.



Au foyer, au bureau, à l'usine, un système de filerie adéquat est essentiel afin de tirer avantage de l'équipement moderne à notre disposition. Votre compagnie d'électricité locale, la Ligue de Service

Électrique Provinciale ou tout entrepreneur qualifié en électricité vous aidera à prévoir les agencements indispensables qui vous permettront de "Mieux vivre... par l'électricité."



**CANADIAN GENERAL ELECTRIC COMPANY
LIMITED**

Fabricant de l'outillage qui génère, transmet et distribue l'électricité
...ainsi que d'une innombrable variété de produits qui la mettent à l'oeuvre dans les foyers et les industries.

SCIENCES

ARTS

ECONOMIE

CULTURE



INGÉNIEUR

REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE

ÉTÉ 1960

VOLUME 46 No 182

**CONSEIL DE
L'ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS
DE POLYTECHNIQUE**

Officiers :

MM. Georges Demers, président
Charles-R. Laberge, 1er vice-président
Emilien Dagenais, 2ème vice-président
Jacques Laurence, secrétaire-trésorier

Directeurs :

MM. André Aird, J.-L. Bourret, Arthur Branchaud, Bernard Lavigne, Claude Lefebvre, Pierre Mauffette, Guy Monty, Edouard Prévost, Lucien Rolland, Claude Rouleau, Georges-E. de Varennes.

Directeurs ex-officio :

MM. J.-G. Chênevert, Henri Gaudet, Léo Roy.

Représentants :

MM. Arthur Branchaud et Georges Demers, section de Québec
Marie-Louis Carrier, section Ottawa-Hull
Jacques Limoges, section du Nord de Québec et de l'Ontario
Henri Gaudet, Corporation de l'École Polytechnique
Jules Bélanger, Association des étudiants de Polytechnique

**COMITÉ D'ADMINISTRATION
DE L'INGÉNIEUR**

MM. Léo Roy, président
Ernest Lavigne, secrétaire-administratif
Léo Gareau, trésorier
Ignace Brouillet, président de la Corporation de l'École Polytechnique
Georges Demers, président de l'Association
Henri Gaudet, directeur de l'École Polytechnique
Jacques Laurence, secrétaire de l'Association

**COMITÉ SCIENTIFIQUE
DE L'INGÉNIEUR**

MM. Jean-C. Bernier, directeur du Centre de recherches à Polytechnique — président
Roger-P. Langlois, professeur agrégé à Polytechnique — secrétaire
Roger Brais, professeur titulaire à Polytechnique
Georges Welter, professeur titulaire à Polytechnique

ADMINISTRATION

Ernest Lavigne secrétaire

RÉDACTION

Louis Trudel rédacteur en chef

PUBLICITÉ

Représentants

Les Éditions Commerciales Inc.
3587, ave Papineau, Montréal 24
Tél. : LA. 5-1665

SOMMAIRE

LA RUPTURE FRAGILE DE L'ACIER

par André Hone 11

SOLUTION COMPLÈTE DU PROBLÈME
DU COURANT CALORIFIQUE NON STATIONNAIRE
À TRAVERS UNE COUCHE PLATE

par Dr B. Szczeniowski 15

EXPORTATIONS DE TRAVAUX TECHNIQUES

par R.-A. Frigon 31

L'EXPLOITATION DE QUEBEC CARTIER MINING

par Jean-Paul Drolet 37

COUP D'OEIL SUR L'INDUSTRIE
ET SUR LA TECHNOLOGIE.....

43

VIE DE L'ASSOCIATION.....

48

NOUVELLES DES DIPLÔMÉS.....

50

REVUE DES LIVRES.....

56

INDEX DES ANNONCEURS.....

60

PHOTO DE COUVERTURE

Photo prise d'un niveau de la mine de Quebec Cartier Mining au Lac Jeannine, montrant l'usine de concentration en construction à l'arrière-plan. Au centre, la chaussée qui reliera la mine directement au concentrateur qui recevra 60,000 tonnes de minerai chaque jour.

EDITEURS : L'Association des Diplômés de Polytechnique, C.P. 501, Snowdon, Montréal 29, Canada, Tél. : RE. 9-2451. — Parution : mars, juin, septembre et décembre. — Imprimeurs : Pierre Des Marais. — Abonnements : Canada et États-Unis \$5 par année, autres pays \$6. — Autorisée comme envoi postal de la seconde classe, Ministère des Postes, Ottawa. — Droits d'auteurs : Les auteurs des articles publiés dans L'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories ou des opinions émises par eux. — La reproduction des gravures et du texte des articles parus dans L'INGÉNIEUR est permise à la condition d'en indiquer la source et de faire tenir à la Rédaction un exemplaire de la publication les reproduisant.

Tirage certifié : Membre de la Canadian Circulations Audit Board.

CCAB

**ALLIS-CHALMERS
VOUS OFFRE...**

**ACCOUPLE-
MENTS.**

**COURROIES
EN V**

CONCASSEURS

**RÉDUCTEURS
DE VITESSE**

**MOTEURS ET
COMMANDES**

**COM-
PRESSEURS**

**TAMIS
VIBRATEURS**

CONDENSEURS

TURBINES

**CONTROLE
ÉLECTRIQUE**

VANNES

POMPES

**FOURS
ROTATIFS**

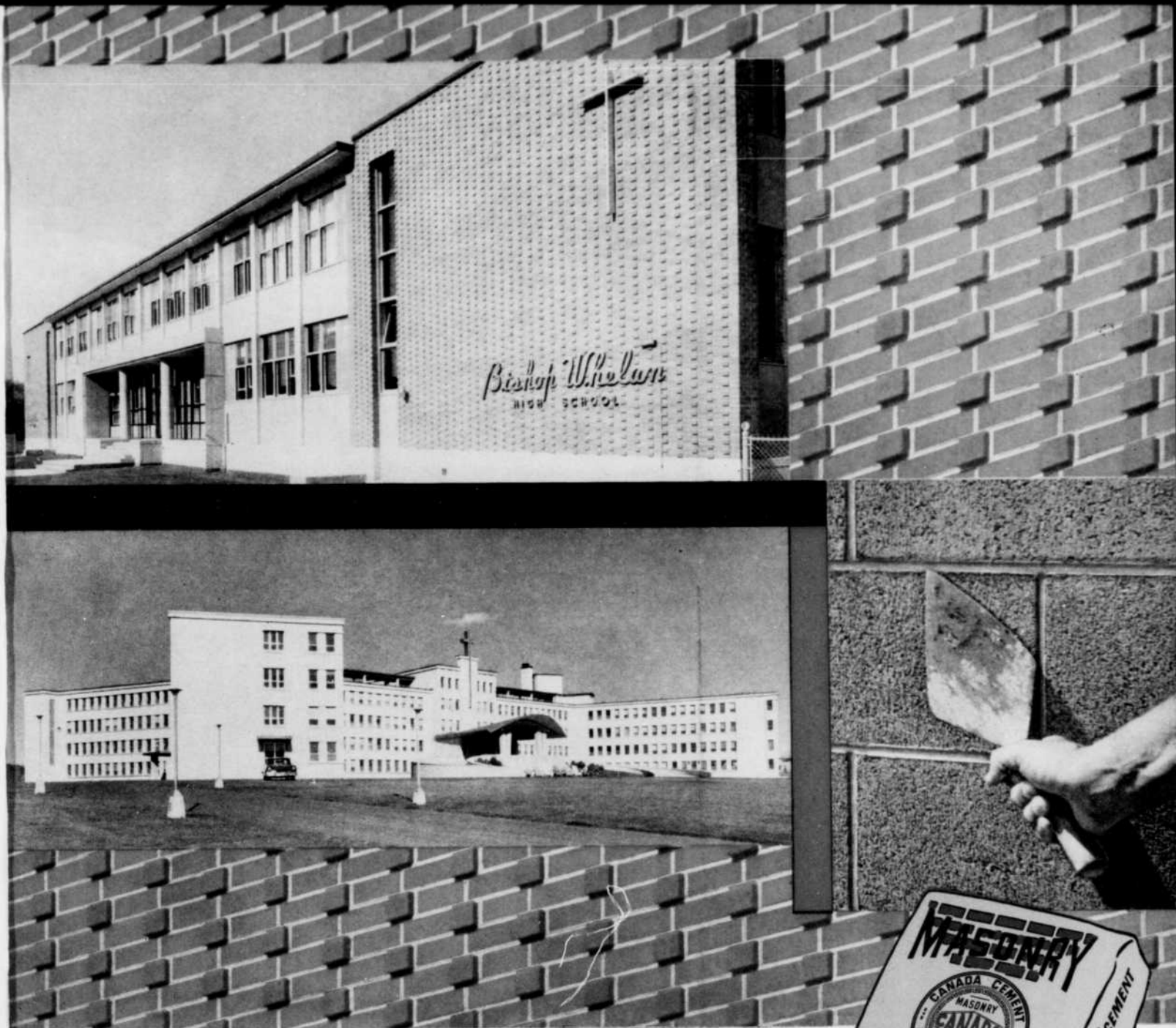
La marque de confiance

CANADIAN ALLIS-CHALMERS

B. P. 37, MONTRÉAL, CANADA



60-C-1F



*Architecte, entrepreneur, ingénieur, propriétaire . . . tous sont fiers
du bel aspect de leurs édifices, résultat d'une
exécution habile et de l'emploi d'un mortier fait de*



Ciment à maçonnerie Canada

BISHOP WHELAN HIGH SCHOOL, LACHINE
Architectes: PAUL M. LEMIEUX et J. S. MORIN
Ingénieurs conseils: BEAULIEU, TRUDEAU & ASSOCIÉS
Entrepreneurs généraux: SEMETEYS CONSTRUCTION INC.
Entrepreneur en maçonnerie: EUGÈNE HAMELIN, GRANBY

LE FOYER ROUSSELOT, MONTRÉAL
Architecte: JEAN MARIE LAFLEUR
Ingénieurs conseils pour la structure
en béton armé: LALONDE & VALOIS
Entrepreneurs généraux: J. L. GUAY & FRÈRE LIMITÉE
Entrepreneurs en maçonnerie: ROBERT & FRÈRE INC.

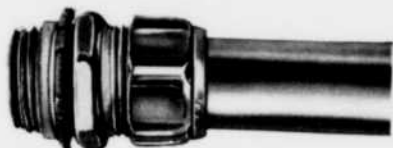
Canada Cement COMPANY, LIMITED ÉDIFICE CANADA CEMENT, MONTRÉAL, P.Q.
BUREAUX DE VENTE: MONCTON • QUÉBEC • MONTRÉAL • OTTAWA • TORONTO • WINNIPEG • REGINA • SASKATOON • CALGARY • EDMONTON

Documentation gratuite et aide technique fournies sur demande par n'importe lequel des bureaux ci-dessus.

C'EST À VOUS DE CHOISIR

entre ces deux qualités de
raccords par pression T & B

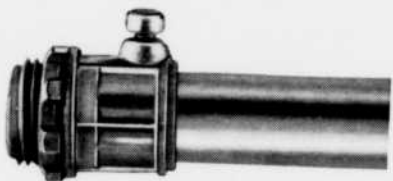
CECI?



**RACCORD ÉTANCHE
TYPE BOÎTE No 5123 à bicône**

Col isolé protégeant contre la mise en court-circuit. Profilé. Serrage intégral, longue portée sur tuyau, à l'épreuve des vibrations. L'écrou de blocage cimenté ne glisse pas et ne tourne pas en cours de montage. Conçu pour durer aussi longtemps que l'installation.

OU CECI?



**RACCORD À
SERRAGE PAR
VIS No 5131**

Serrage par vis, simple accrochage. Convient pour les installations où l'on recherche avant tout l'économie initiale.



Lorsqu'il s'agit d'acheter des raccords par pression, vous avez le choix entre deux modèles T & B approuvés par la CSA. Celui à serrage par vis est conçu pour vous permettre d'offrir à vos clients une installation initiale d'un coût vraiment modique tandis que le modèle étanche 5123, à gorge isolée offre des caractéristiques supérieures au point de vue résistance, rendement, efficacité, facilité d'installation et économie (en vertu de sa grande durabilité) . . . sans compter qu'il réduit au minimum les frais d'entretien et de remplacement.

Vous obtenez plus pour votre argent avec les produits T & B dont la qualité protège les intérêts de vos clients de même que votre renom.

Vous avez le choix, mais assurez-vous de bien spécifier le type de raccord que vous désirez !



THOMAS & BETTS LIMITED

751 Victoria Square • Montréal, Québec

Bureaux de vente et entrepôts : Saint-Jean, N.B. • Toronto • Montréal
Winnipeg • Saskatoon • Calgary • Edmonton • Vancouver

Filerie adéquate



avec HOUSEPOWER entier



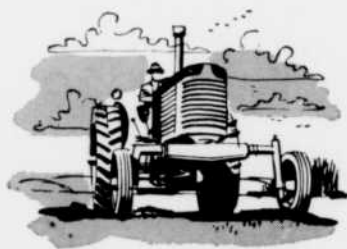
/ Pour prévenir la poussière . . .

*/ consolider les accotements et
les fondations des routes . . .*



/ fondre la glace . . .

/ accélérer la prise du béton . . .

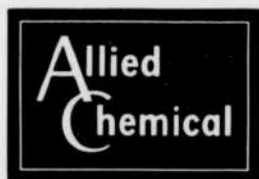


/ alourdir les pneus des tracteurs—

LE CHLORURE DE CALCIUM

BRUNNER MOND

Ecrivez-nous pour obtenir des dépliants explicatifs ainsi que des renseignements supplémentaires sur l'emploi du chlorure de calcium Brunner Mond de FABRICATION CANADIENNE.

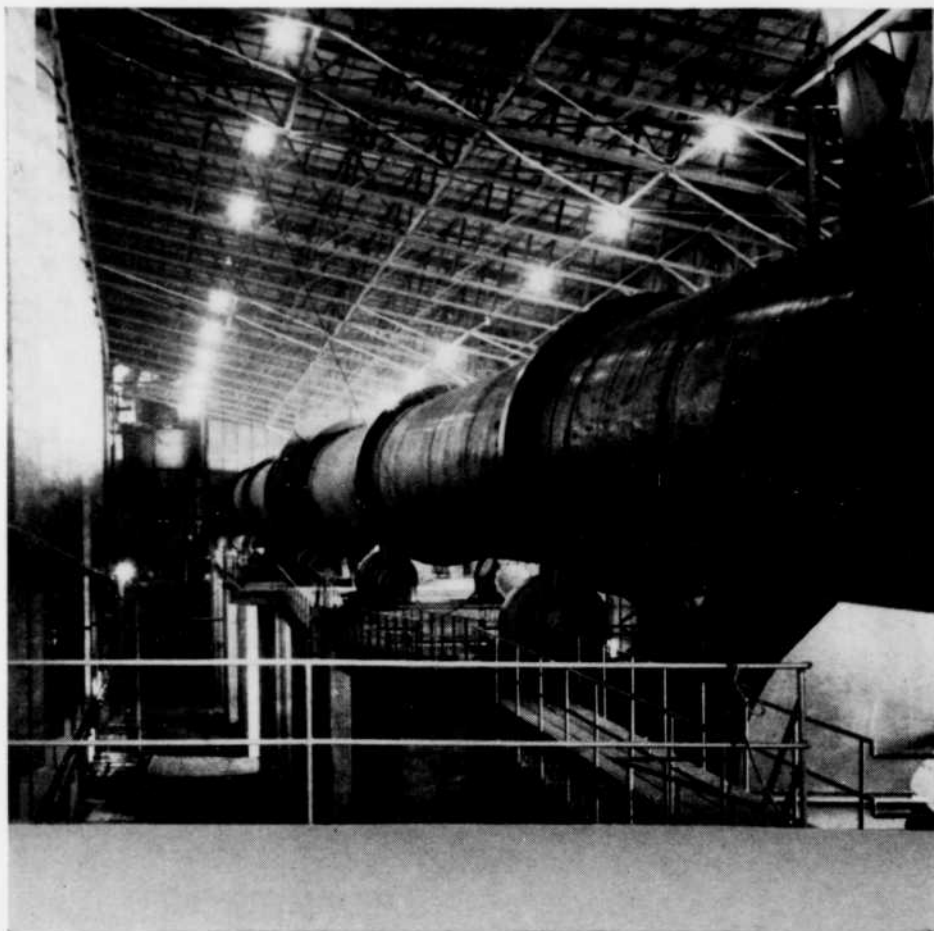


ALLIED CHEMICAL CANADA, LTD.
PRODUITS BRUNNER MOND

1450, RUE CITY COUNCILLORS, MONTRÉAL 2, P.Q.
100, NORTH QUEEN STREET, TORONTO 18, ONT.



NOUS SALUONS MIRON & FRÈRES Ltée



LA PLUS VASTE DES CIMENTERIES modernes d'Amérique du Nord utilise le ***GAZ NATUREL***

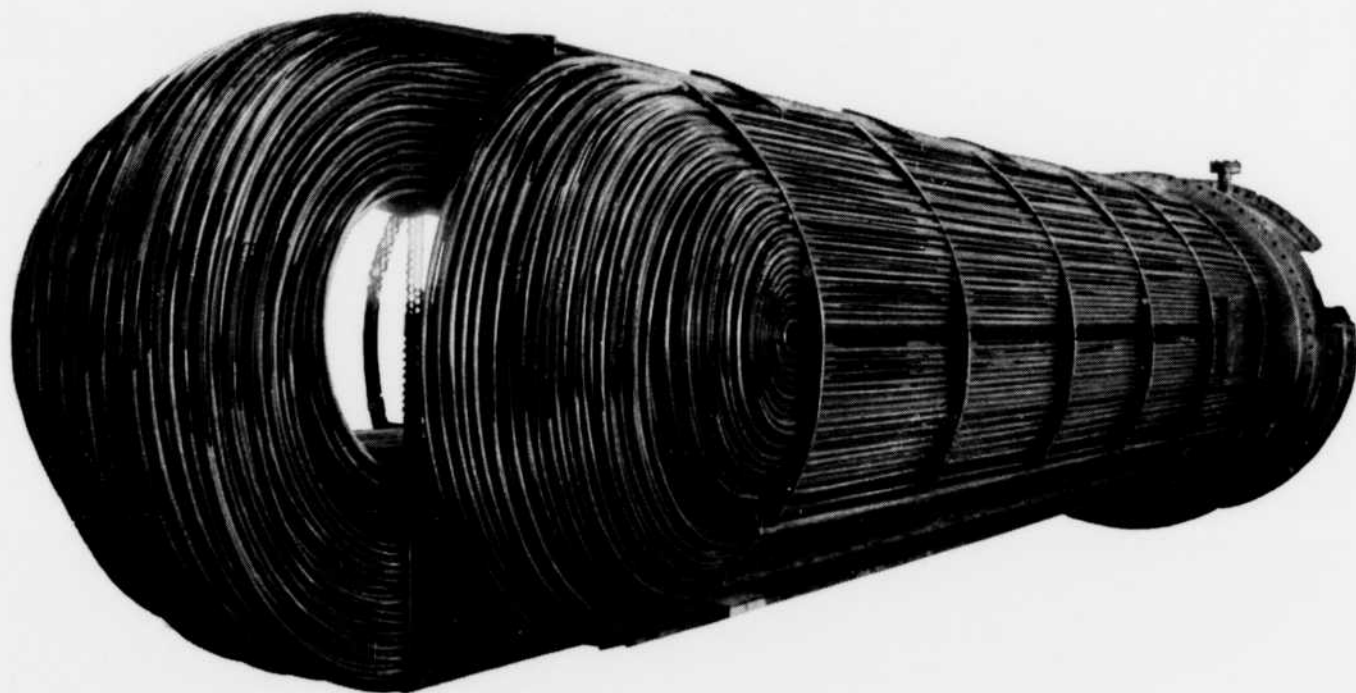
Le gaz naturel, combustible industriel idéal pour l'excellence du contrôle de la température ainsi que pour la propreté et l'économie, a été choisi par Miron & Frères Ltée. Le four de 550 pieds à production continue, le plus considérable en Amérique du Nord, est d'une capacité annuelle de 4 millions de barils. Le gaz naturel alimente le four et la chaufferie de l'usine. On prévoit qu'on emploiera le gaz à l'usine d'asphalte et aux bureaux administratifs de la compagnie.

La consommation, de 9 millions de pieds cubes par jour au début, s'accroîtra de plusieurs millions par jour, selon les besoins.

Étudiez les possibilités du gaz naturel du point de vue de votre propre entreprise.

CORPORATION DE GAZ NATUREL DU QUÉBEC

EXIGEZ LES TUBES EN
MONEL *
DE NORANDA



Nous fabriquons maintenant une gamme variée de tubes en MONEL* pour chaudières, condenseurs et échangeurs. Réputé pour son excellente tenue aux températures et aux pressions extrêmes et à l'attaque des eaux corrosives, le Monel offre la solution idéale à beaucoup de problèmes qui se posent dans la construction des chaudières et échangeurs. Les tubes en Monel de Noranda peuvent être livrés recuits, détendus, épaissis (pour cintrage en épingle à cheveux), et en grandes longueurs—conformes dans tous les cas à l'ASTM B-163 et contrôlés suivant les normes de qualité Noranda. Noranda conserve suffisamment de métal en train pour pouvoir remplir, dans un délai de trois à quatre semaines de leur réception, la plupart des commandes de Monel. Cherchant toujours à diversifier sa fabrication, Noranda prouve encore une fois, avec les tubes en Monel, qu'elle offre à l'industrie canadienne "la clef de l'excellence en métaux".

**Marque déposée par The International Nickel Company of Canada Limited*



Noranda Copper and Brass Limited

BUREAUX DES VENTES: Montréal • Toronto • London • Edmonton • Vancouver

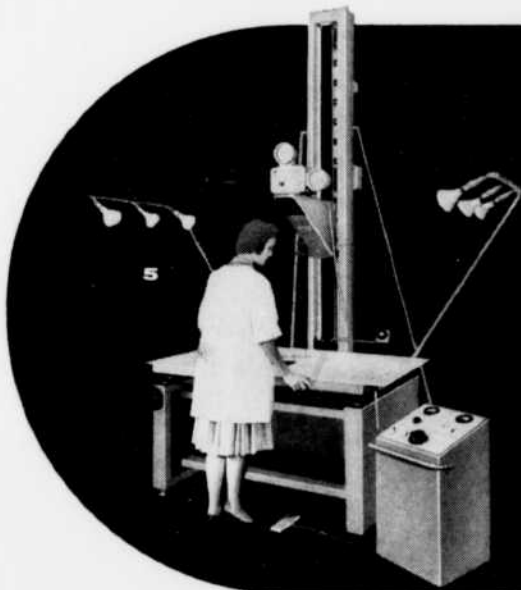
BRUNING

*offre le plus vaste choix au Canada
d'équipement de reproduction de dessins*

L'utilisation du procédé de reproduction, noir sur blanc de type diazo, des tracés de plans d'ingénieurs et d'architectes s'accroît au rythme accéléré. Ce procédé comporte des fac-similés fidèles, de lecture facile (sous forme de positifs et non de négatifs), des copies originales ou des tracés et de plus, il écourte le temps consacré aux dessins et amoindrit les frais de reproduction. La maison Bruning, récemment fusionnée avec Paragon Revolute, est désormais en mesure de fournir le plus vaste choix de machines et de matériaux de reproduction, soit à sec ou humide, en noir sur blanc.



Modèle Copyflex 320 — Machine à tirage conçue pour reproduire des tracés mesurant jusqu'à 42 pouces de largeur. Économique, peu encombrante.



Caméra planétaire Dea-Graph à microfilm — Définition garantie de l'image à 120 lignes au millimètre et à 30x de réduction. On peut ajouter une tête d'agrandisseur facultative EA 1 faisant office d'agrandisseur.



Caméra de reproduction réduite Revolute — Transparences de format réduit effectuées directement des dessins originaux, pour reproduction instantanée, avec l'appareil de photo-calque ou de type diazo.

Quant aux reproductions réduites, ou miniatures, Bruning dispose d'une sélection complète d'équipements de microfilmage, de même que d'appareils de réduction continue et de transformation, pour la mise en train des travaux de miniature récupérables.

Bruning est en mesure de satisfaire entièrement à vos exigences, pour imprimés noir sur blanc ou miniature, qu'il s'agisse de prix, de formats ou de rendement.

Vous pouvez accroître sensiblement le rythme de vos affaires, sans affecter de fortes sommes. Profitez du plan Bruning de versements mensuels minimes, pour louer ou acheter l'équipement qui accélérera votre rendement.

Pour plus ample informé, remplissez et retournez ce coupon.

Charles Bruning Co. Ltd.
37 Advance Road
Toronto, Ont.

Messieurs :
Veuillez me faire tenir des précisions sur les articles ci-contre numérotés :
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

NOM

POSITION

COMPAGNIE

RUE

VILLE

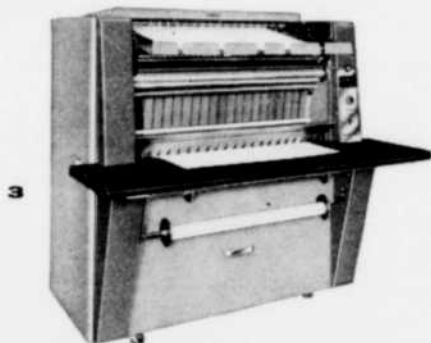


Matériaux.
Bruning fournit les matériaux requis pour le dessin ou la reproduction en noir sur blanc de type diazo ou en miniature.

TIRAGE DIAZO ÉCONOMIQU



Modèle Copyflex 300 — Une machine de table, compacte, complète et peu coûteuse. Largeur d'impression, 30".



Modèle Copyflex 430 — Machine à reproduction noir sur blanc, peu coûteuse, de grosseur moyenne, qui peut absorber des rouleaux ordinaires de 42" ou des rames à feuilles multiples.



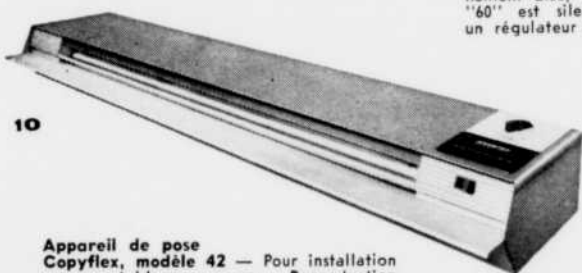
La Revolute Rochette — Une nouvelle machine de tirage diazo à sec, pourvue d'un simple régulateur à bouton unique, et de rouleaux de développement perforés, en acier inoxydable.



Revolute Star — Les modèles de reproduction à 54, 42 et 24 pouces tirent jusqu'à 75 pieds à la minute. Utilisation continue, prévue avec le minimum d'entretien.

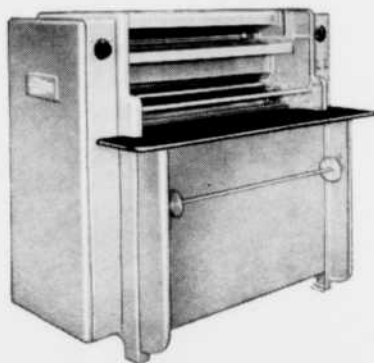


Modèle 675 Copyflex — Reproduction à fort rendement. Haute qualité et travail économique de cette machine surbaissée, profilée et super-actionnée.



Appareil de pose Copyflex, modèle 42 — Pour installation sur une table ou au mur. Reproduction en noir sur blanc. Cet appareil, bien que léger, peut imprimer jusqu'à 42 pouces de largeur.

Le Revolute Meteor "60" — Fonctionnement aisé, entretien facile. Le Meteor "60" est silencieux, étant actionné par un régulateur électronique de vitesse.



BRUNING

D'UN RENDEMENT SUPÉRIEUR

CHARLES BRUNING CO., LTD. 37 ADVANCE ROAD, TORONTO, ONT.

SECRETARIAT DE LA PROVINCE DE QUÉBEC

- Les fonctions du Secrétariat de la Province de Québec sont tout à fait d'ordre social. L'oeuvre qu'il accomplit est d'une importance capitale pour le développement de la Province.
- Les compagnies de la Province, qui désirent bénéficier de la Loi des compagnies de Québec, doivent s'adresser au Secrétariat de la Province, afin d'obtenir leur charte d'incorporation; c'est ce ministère, également, qui émet les licences et permis autorisant les compagnies étrangères à exploiter quelque commerce ou industrie et à vendre ou autrement aliéner leur capital et leurs actions en cette Province. Les unes et les autres sont tenues de fournir au Secrétariat un rapport annuel de leur activité.
- Depuis quelques années, la population tout entière a compris l'importance de l'Instruction publique. Le Secrétariat de la Province n'a rien négligé pour répandre l'enseignement primaire et supérieur, afin d'outiller notre jeunesse, dans la préparation de son avenir. Outre les allocations octroyées aux universités et aux collèges classiques, il assure avec le Département de l'Instruction publique, le maintien de l'enseignement primaire, dans les villes, et surtout dans nos campagnes.
- Il a la haute direction des principales écoles d'enseignements supérieur : l'Ecole Polytechnique, l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales, les Ecoles des Beaux-Arts, le Conservatoire de Musique et d'Art Dramatique, la Bibliothèque Saint-Sulpice, directement subventionnés par lui, et qui visent à la formation d'une élite dans le monde de la finance, du commerce et des arts.
- Chaque année, des cours du soir sont donnés gratuitement pendant plusieurs mois, permettant aux jeunes travailleurs sérieux de continuer leurs études et d'acquérir les connaissances nouvelles, souvent indispensables dans l'exercice de leurs devoirs journaliers.
- Le Secrétariat de la Province s'intéresse aussi au progrès des sciences, des lettres et des arts et chaque année il distribue plusieurs milliers de dollars en prix décernés aux auteurs des meilleurs ouvrages présentés à ses concours littéraires et scientifiques.
- Le même ministère attache une importance toute spéciale au progrès de l'art musical dans cette province. En plus d'avoir fondé le Conservatoire de Musique et d'Art Dramatique, il a donné une vive impulsion à l'enseignement du solfège.
- Dans le but de conserver notre patrimoine artistique et de le faire mieux connaître, il poursuit depuis plusieurs années un inventaire des oeuvres d'art, contribuant ainsi à sauver de la destruction et de l'oubli des trésors artistiques qui, sans cette contribution, seraient aujourd'hui perdus dans la collectivité.
- Et voilà le résumé succinct des principales activités du Secrétariat, qui occupe sa place bien à lui dans le Gouvernement, et dont l'importance primordiale ne peut être mise en doute.

Raymond Douville,

sous-secrétaire de la Province.

L'honorable Yves Prévost, C.R.,

Secrétaire de la Province.



LA RUPTURE FRAGILE DE L'ACIER*

André Hone, D.Sc., Ing.P.

**Chef du Département de Génie Métallurgique
à l'École Polytechnique de Montréal**

(* Cet article a paru dans notre dernière livraison. Toutefois, la vignette de la fig. 2 a été sérieusement mutilée, ce dont nous nous excusons auprès de l'auteur et de nos lecteurs. En toute justice, nous croyons devoir reproduire l'article dans son entier.)

Sommaire

Intensifié par l'utilisation de plus en plus répandue de la construction métallique soudée, le phénomène de la rupture fragile a été l'objet de recherches poussées dans presque tous les grands pays du monde, surtout depuis la dernière guerre alors que des catastrophes navales et autres ont montré l'urgence de l'étude de ce phénomène. Aujourd'hui, même si l'on ne connaît pas clairement le mécanisme métallurgique de ce phénomène, l'ingénieur est en mesure d'éviter l'accident par rupture fragile. Il lui faut alors faire entrer dans ses calculs les valeurs de la résilience déterminées en fonction des températures d'utilisation.

Summary

Following a burst of catastrophic failures of ships, bridges and miscellaneous other structures of the continuous type as obtained by welding, research on brittle fracture was intensified in those countries where some was already being carried out, and new research was initiated in many other countries. Notwithstanding the fact that a good deal of information is still badly needed regarding the metallurgical mechanism of brittle fracture, the engineer has nowadays sufficient information to successfully guard against brittle fracture. To achieve this end, the engineer has to make use of the information now made available to him on the dependence of notch toughness upon temperature.

Journée d'études à Polytechnique

Le 15 janvier 1960, a eu lieu à l'École Polytechnique une journée d'études organisée par la Canadian Welding Society. Les travaux ont porté sur ce sujet, tout vibrant d'actualité, qu'est la rupture fragile de l'acier. Au cours de cette journée, six experts en la matière ont présenté les principaux aspects de ce phénomène, ses conséquences et les moyens à prendre pour en atténuer les effets. Avec un auditoire d'environ cent cinquante personnes qui se sont vivement mêlées à la discussion et qui ont même fait un apport de précieux renseignements, la journée fournit une riche moisson d'informations techniques.

Les six experts de la journée d'études étaient :

1 — M. J. E. REHDER

Vice-Président en charge des
Techniques
Canada Iron Foundries Ltd.

qui a inauguré la journée en formulant la nature du problème de la rupture fragile.

2 — Dr. R. D. STOUT

Chef du Département de Génie
Métallurgique
Lehigh University, Bethlehem, Pa.

qui a fait l'analyse des méthodes d'essais et de leur portée réelle comme moyen d'information.

3 — Dr. K. WINTERTON

Bureau des Mines, Ottawa

qui a indiqué la façon dont l'ingénieur doit s'y prendre pour arrêter son choix sur un alliage en particulier.

4 — M. P. P. PUZAK

Chef de la Section Métallurgique,
United States Naval Research
Laboratories

qui a décrit des cas réels de ruptures fragiles et donné les conclusions des enquêteurs. (Fig. 3).

5 — Dr. G. E. WILLEY

Vice-Président en charge des
Techniques
Electro-Metallurgical Company
Président du Comité d'Enquête
U.S.A. G-40

qui a mis à jour le travail fait dans le but d'établir le nouveau code canadien qui a trait à la rupture fragile.

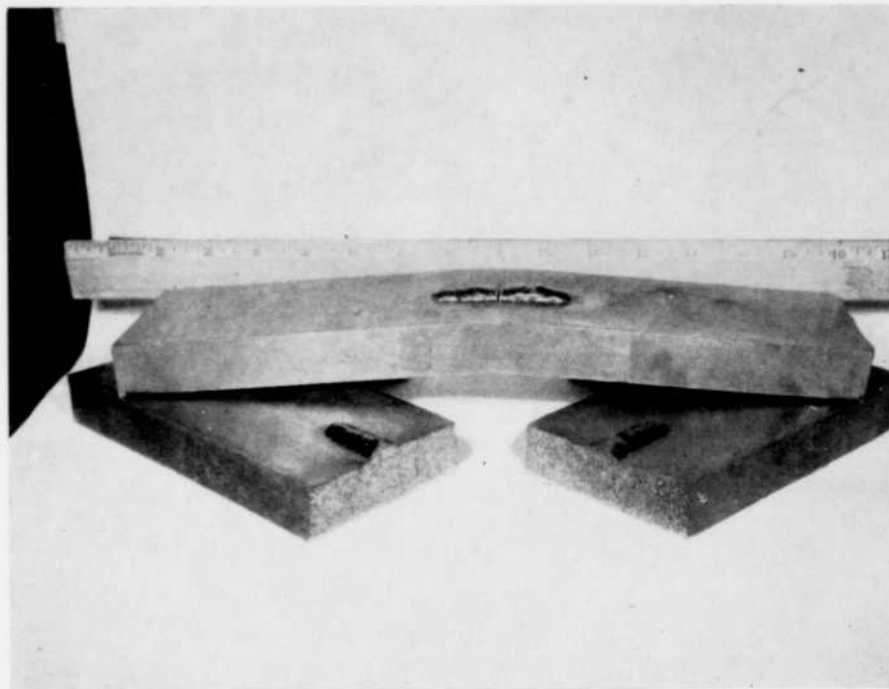


Fig. 1 — Différence de rupture entre un acier dit ductile (pièce supérieure) et un acier dit fragile (pièce inférieure). Ces deux plaques de mêmes dimensions ont été soumises au même essai de choc, à une température correspondant à celle du jour froid moyen de notre climat.

6— M. L. M. BOYD

Ingénieur en Chef, Division
Hydraulique
Dominion Engineering Works, Ltd.

qui a fait voir le problème de l'ingénieur en face de la rupture fragile et les moyens à prendre pour l'atténuer.

La journée avait été organisée par M. Donald WALKER de la firme Handy and Harman of Canada, Ltd.; le président actuel de la Section Montréalaise de la Canadian Welding Society est M. George BARRETT de Dominion Bridge Company et le président canadien est M. C. SEBISTIANO-WICH de Dominion Engineering Works, Ltd.

Le phénomène de rupture fragile étant de toute première importance au Canada en raison du climat relativement froid, il semble opportun de présenter aux lecteurs de "L'INGÉNIEUR" les grandes lignes de l'état de notre connaissance sur le sujet.

Qu'est-ce que la rupture fragile?

Ce qui rend le métal intéressant au point de vue de la construction métallique, c'est sa ténacité. En fait c'est la propriété qu'a le métal de résister longuement à l'effort intense. C'est aussi la propriété qu'a le métal de "tenir le coup" lorsqu'il est soumis à des efforts de choc. Dans ce sens, on pourrait presque prétendre que le métal est l'inverse du verre: sous l'effet d'un choc violent, on sait que le verre se brise en éclats alors qu'on attend du métal qu'il subisse tout au plus une déformation. On dit alors que le verre est fragile et que le métal est tenace. Dans la fig. 1, on peut voir le cas d'un acier tenace et le cas d'un acier fragile; dans le cas de l'acier tenace, sa déformation est dite ductile; dans le cas de l'acier fragile comme il n'y a que peu de déformation avant la rupture, on parle alors seulement de rupture fragile.

Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que l'on accepte le fait que quelques métaux, normalement ductiles, peuvent présenter, dans certaines conditions, une fragilité aussi grande que celle du verre. Parmi les facteurs qui conduisent le métal vers l'état de grande fragilité, l'abaissement de température semble le plus important.

Lorsque le métal est ductile et tenace, sa déformation se fait par des déplacements successifs et rapides d'atomes suivant des plans cristallographiques bien définis. Pour faire image, on peut dire que chaque grain qui compose une pièce de métal se comporte au moment d'une déformation comme votre revue "L'INGÉNIEUR" que l'on déformerait en la courbant. Tout en glissant les unes sur les autres, ses feuilles ne se séparent pas les unes des autres. Malgré la déformation de la revue, il n'y a pas eu "cassure". On dit que ce genre de déformation est caractéristique du phénomène de ductilité et de ténacité.

Lorsque le métal est fragile, sa déformation se fait par des arrachements entre plans cristallographiques. Dans le cas de votre revue "L'INGÉNIEUR", cet arrachement correspondrait à la déchirure des feuilles. Dès que la déchirure est amorcée, elle se propage avec facilité. On dit que cette déformation est empreinte de fragilité.

D'une façon générale, on peut dire que la déformation à température élevée se fait plutôt par glissement tandis qu'elle a de plus en plus tendance à se faire par arrachement au fur et à mesure que la température s'abaisse. Ces deux tendances sont indiquées sur la fig. 2. Le passage d'une modalité de déformation à l'autre, alors qu'il y a 50% de déformation par glissement et 50% par arrachement, s'appelle la température de transition duc-

tilité-fragilité. Pour l'ingénieur, c'est le paramètre de première importance.

Quels sont les métaux qui sont sujets à la rupture fragile ?

Des métaux comme le cuivre et l'aluminium ne semblent pas avoir de température de transition ductilité-fragilité, du moins aux températures climatiques les plus rigoureuses que nous connaissions sur notre globe. Le cuivre et l'aluminium cristallisent dans le système cubique à faces centrées. On s'attend à ce que les autres métaux qui cristallisent dans ce même système soient tout aussi exempts de fragilité à basse température. Par exemple, certains aciers inoxydables de la famille des aciers austénitiques qui sont cristallisés dans le système cubique à faces centrées semblent être exempts de cette fragilité.

Le cas de fragilité à basse température qui préoccupe l'ingénieur est celui des aciers ordinaires en raison de leur utilisation courante dans les grands ouvrages de structures métalliques et de construction mécanique.

Quel est l'ordre de grandeur des températures de transition ductilité-fragilité ?

La température de transition ductilité-fragilité varie avec la composition de l'acier et son état métallurgique, qu'il soit plus ou moins écroui, trempé ou non, etc... Jusqu'à date, on a relevé des températures de transition aussi élevées que 250°F., parfois même plus hautes et d'autres aussi basses que -160°F.

Entre ces deux chiffres, les températures de transition des aciers connus forment une ligne pratiquement continue.

Cela signifie que l'ingénieur se doit de tenir compte de la température de transition ductilité-fragilité

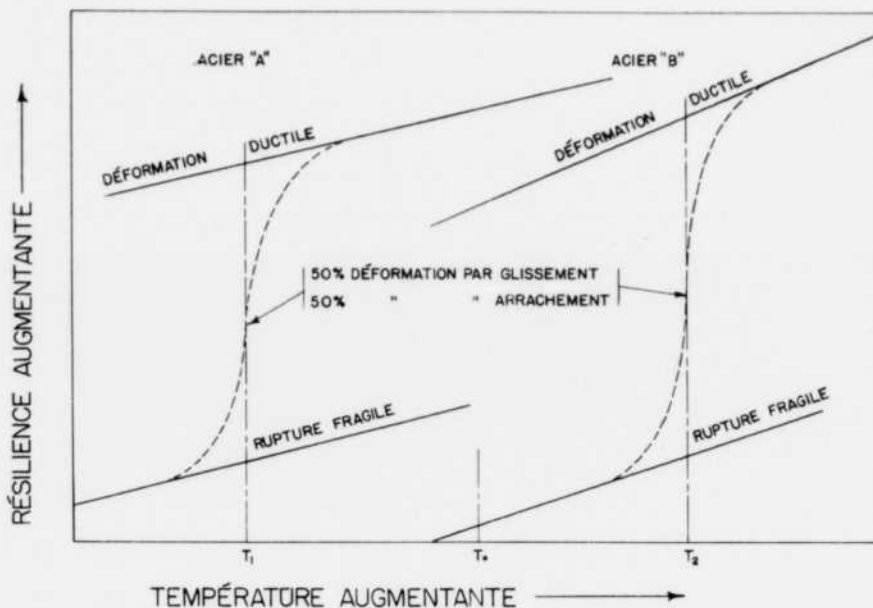


Fig. 2 — Les deux modalités de la déformation pour deux aciers "A" et "B".
1 — La modalité par glissement cristallographique : déformation ductile ;
2 — la modalité par arrachement cristallographique : rupture fragile. A la température d'utilisation " T_0 ", l'acier "A" serait ductile tandis que l'acier "B" serait fragile. En revenant à la fig. 1, la température d'essai étant " T_0 ", la température de transition ductilité-fragilité serait T_1 pour la pièce supérieure tandis qu'elle serait T_2 pour la pièce inférieure.

gilité pour les chaudières et autres constructions exposées à des températures élevées, tout aussi bien que pour les structures métalliques qui sont en service aux basses températures ainsi que pour toute la gamme des températures intermédiaires.

Pourquoi la découverte de ce phénomène ne s'est-elle faite que récemment ?

Le rôle du soudage

Depuis que l'on utilise l'acier, il y a eu nombre d'accidents dont on n'a jamais pu déterminer la cause de façon satisfaisante. Comme la rupture fragile ne peut pas se transmettre d'une pièce à l'autre, même entre pièces réunies aussi étroitement que par un rivetage, l'ampleur des dégâts causés par une rupture fragile est passée d'ordinaire à catastrophique à partir du moment où l'on a commencé à réunir les parties composantes d'une construction par soudage. Au lieu de se limiter à un seul membre comme c'est le cas dans la construction par rivetage, la rupture peut s'éten-

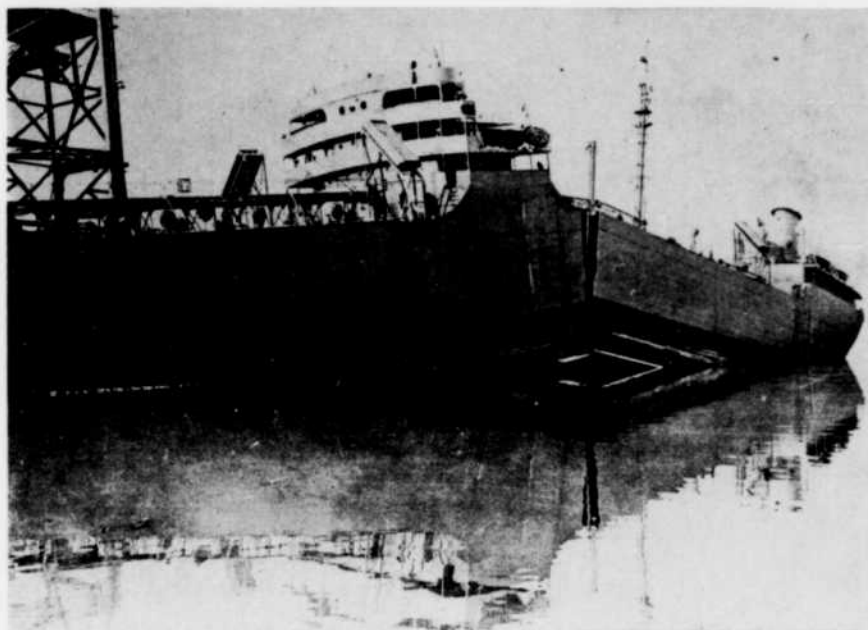
dre à toute la structure dans le cas de la structure continue comme c'est le cas de la construction par soudage.

Comme la construction par soudage ne s'est développée à grande échelle que depuis une trentaine d'années, ce n'est que depuis seulement une vingtaine d'années, devant l'ampleur des catastrophes, que l'on a entrepris des recherches à grande échelle. Depuis la dernière guerre, on a dépensé, dans les pays qui s'en sont occupés activement, pour les enquêtes et la recherche, des dizaines de millions de dollars, probablement plus de cent millions de dollars. Les résultats obtenus à date indiquent clairement que le cauchemar de la rupture fragile s'éloigne graduellement.

Peut-on guérir l'acier de la rupture fragile ?

Il est encore beaucoup trop tôt pour pouvoir dire nettement oui ou non.

À date on reconnaît deux catégories de facteurs, notamment :



Courtoisie de M. Puzak

Fig. 3 — Catastrophe résultant de la rupture fragile d'un navire marchand à quai.

a) ceux qui influencent la formation de la fissure de départ;

b) ceux qui influencent la continuation de la fissure.

Quelques-uns de ces facteurs sont indépendants les uns des autres. D'autres facteurs sont étroitement reliés les uns aux autres, ce qui complique la solution du problème.

Les producteurs d'acier sont déjà au courant d'un grand nombre de facteurs qui sont plus ou moins clairement reliés les uns aux autres. Ils sont en mesure aujourd'hui de répondre aux exigences de l'ingénieur. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que le coût de production augmente rapidement avec l'exiguité des tolérances.

D'une façon générale, on peut prétendre que l'on est en mesure aujourd'hui de calculer et de construire des structures dont la probabilité de résistance à la rupture fragile est excellente.

Que doit faire l'ingénieur pour écarter le danger de rupture fragile ?

L'ingénieur doit tenir compte des deux catégories de facteurs que l'on sait aujourd'hui influencer la rupture fragile.

Parmi les facteurs qui influencent la **formation** de la fissure de départ, il faut surveiller :

a — **les angles** : Comme l'effort unitaire à la base d'un angle est une fonction inverse du rayon de raccordement à la base de

l'angle, il faut chercher à raccorder les éléments d'une construction avec des courbes dont le rayon de courbure soit le plus grand possible. Il faut aussi éviter les entailles.

b — **le soudage** : Il faut éviter les effets d'entaille occasionnée par des raccordements incomplets, et la microfissuration occasionnée par des étincelages faits en dehors du cordon de soudure.

c — **la corrosion** : Il faut éviter la corrosion profonde qui est souvent la cause de fissuration de départ, surtout dans le cas de la corrosion fissurante.

Parmi les facteurs qui influencent la **propagation** de la fissure dans la pièce, il faut surveiller :

a — **la température de service** : Il faut que l'ingénieur s'assure que la température qu'il a choisie correspond réellement à la plus basse température que la pièce puisse atteindre en service.

b — **la qualité de l'acier** : Il faut savoir exiger l'acier qui sera exempt de rupture fragile à la température d'utilisation. Les producteurs d'acier fournissent maintenant des valeurs de la résilience en fonction de la température. Dans le cas de structures de grande importance, l'ingénieur devrait faire des essais à la réception de l'acier. Ces essais, faits indépendamment du producteur d'acier, permettent à l'ingénieur de s'assurer que la température de transition de chaque lot d'acier est satisfaisante.



SOLUTION COMPLÈTE DU PROBLÈME DU COURANT CALORIFIQUE NON STATIONNAIRE À TRAVERS UNE COUCHE PLATE*

par

Dr B. Szczeniowski

Professeur titulaire de Dynamique des fluides
École Polytechnique de Montréal

1. INTRODUCTION

Le but de ce travail est de trouver la solution complète et, par la suite, certaines solutions particulières de la conduction de la chaleur à travers une couche plate dans le cas du courant calorifique non stationnaire. Ces solutions pourraient être appliquées aux nouvelles conceptions des appareils à mesurer le coefficient de conductibilité thermique des matériaux solides, et plus particulièrement des isolants thermiques.

Les appareils actuels servant à mesurer la conductibilité sont basés sur la supposition du courant calorifique stationnaire. Or, le temps nécessaire pour obtenir l'équilibre thermique, assurant l'écoulement stationnaire de chaleur, dans une couche d'un matériel isolant, est habituellement très long, s'étendant parfois sur plusieurs jours. Il existe des appareils industriels permettant de raccourcir considérablement le temps de mesures, mais ces appareils sont plutôt rudimentaires, ne donnant que des résultats très approximatifs, qu'on ne peut pas considérer comme solution satisfaisante du problème de raccourcissement du temps de mesures.

Un appareil pour mesurer la conductibilité, basé sur l'écoulement calorifique non stationnaire, pourrait, en principe au moins, non seulement réduire le temps de mesures à quelques dizaines de minutes, mais permettre de trouver durant ce laps de temps plusieurs valeurs du coefficient de conductibilité en fonction de la température et, en plus, plusieurs valeurs de la chaleur spécifique du matériel essayé, également en fonction de la température. L'auteur de cet article a déjà eu un certain succès avec l'application d'une des méthodes possibles basées sur le flot calorifique non stationnaire (Ref. 1). Cet article est offert aux lecteurs avec l'espoir de les encourager à concevoir d'autres méthodes plus raffinées et plus satisfaisantes.

Au point de vue mathématique le problème est de trouver la solution générale de l'équation para-

bolique de la chaleur (donc contenant deux fonctions arbitraires différentes) dans le cas d'une couche plate dont le plan s'étend jusqu'à l'infini dans les deux sens et dont l'épaisseur est finie et constante.

Par conséquent on considérera seulement deux variables indépendantes: la distance x à travers la couche et le temps τ , en supposant que dans un plan quelconque, perpendiculaire à la direction x , la température est uniforme dans un instant donné. Les deux fonctions arbitraires de la solution doivent apparaître dans la solution de façon à permettre de remplir les conditions suivantes aux limites:

(1) la distribution des températures le long de l'épaisseur de la couche s'étendant de $x = 0$ à $x = a$, au moment initial $\tau = 0$, est donnée par une fonction arbitraire $t = \varphi(x)$;

(2) la variation de température sur la surface $x = a$ avec le temps est donnée par une fonction arbitraire $t = f(\tau)$. Evidemment, il faut que $\varphi(a) = f(0)$.

Une telle solution générale permettrait ensuite de résoudre les cas plus compliqués, tels que le système de deux ou plusieurs couches de matériaux placées en sandwich, etc.

Pour trouver la solution générale, il faut d'abord établir l'équation de la chaleur et trouver son intégrale particulière appelée l'intégrale fondamentale.

2. NOTATIONS

Q	— chaleur transmise, en Btu
t	— température, en degrés F
x	— distance, en pieds
τ	— temps, en heures
A	— surface, en pieds carrés
λ	— coefficient de conductibilité thermique, en Btu/pi, heure, °F
j	— courant de chaleur, en Btu/pi ² , heure

* Contribution du Département de Génie Mécanique, Ecole Polytechnique de Montréal.

γ	— poids spécifique du matériel, en lb/pi ³
c	— chaleur spécifique du matériel, en Btu/lb, degré
$h = \sqrt{\frac{\gamma c}{\lambda}}$	— en $\frac{h^2}{pi}$
$\varphi(x), f(x)$	— fonctions arbitraires
ξ, η	— constantes arbitraires; aussi variables auxiliaires d'intégration
a	— distance constante, en pieds
C, α	— constantes arbitraires
$X(x), T(\tau)$	— fonctions explicites
$\theta(\beta)$	— fonction de Gauss de l'argument β (voir l'Appendice)

3. EQUATION DE LA CHALEUR ET SON INTEGRALE FONDAMENTALE

La théorie analytique de conductibilité se base sur la supposition de l'homogénéité du matériel et l'hypothèse du fameux savant français Fourier. Le raisonnement de ce dernier était comme suit: Dans un corps qui n'est pas en équilibre thermique, on peut réunir les points de même température par un réseau de lignes ou de surfaces isothermiques. D'autre part, l'expérience montre que la direction du courant de la chaleur est perpendiculaire à celle des isothermes, et que ce courant de la chaleur est proportionnel à la chute des températures sur une distance unitaire, c'est-à-dire

$$j = -\lambda \frac{\delta t}{\delta x},$$

ou λ est le facteur de proportionnalité, appelé conductibilité thermique, et x est la distance dans la direction perpendiculaire aux isothermes. Le signe négatif indique que la chaleur s'écoule dans la direction de la température décroissante, ce qui signifie que la dérivée $\frac{\delta t}{\delta x}$ est négative.

La quantité de chaleur qui passe par un élément dA de surface situé à une distance dx de l'origine des coordonnées, durant $d\tau$ heures, devient

$$jdAd\tau = -\lambda dA \frac{\delta t}{\delta x} d\tau.$$

Dans un plan parallèle, situé à la distance dx du précédent, la température étant variable avec le lieu, devient $t + \frac{\delta t}{\delta x} dx$ et la quantité de chaleur traversant l'élément dA de ce plan, devient

$$-\lambda dA \frac{\delta}{\delta x} (t + \frac{\delta t}{\delta x}) d\tau.$$

On peut dire que cette quantité de chaleur est sortie durant $d\tau$ heures du volume $dAdx$ du matériel, tandis que la quantité $-\lambda dA \frac{\delta t}{\delta x} d\tau$ est entrée dans le même volume, durant les mêmes $d\tau$ heures.

La quantité nette

$$d\dot{Q} = -\lambda dA \frac{\delta t}{\delta x} \delta\tau - \left[-\lambda dA \frac{\delta}{\delta x} (t + \frac{\delta t}{\delta x}) d\tau \right] = \lambda dA \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} d\tau$$

y restait, causant l'augmentation de température de t à $t + \frac{\delta t}{\delta\tau} d\tau$, encore durant $d\tau$ heures. A cette augmentation de température correspond une quantité de chaleur égale au poids de l'élément du matériel multiplié par la chaleur spécifique et par le différentiel de température $(t + \frac{\delta t}{\delta\tau} dt - t)$. Donc

$$dQ = dA dx \gamma c \frac{\delta t}{\delta\tau} d\tau.$$

En vertu du principe de conservation de l'énergie, les deux chaleurs doivent être les mêmes, donc

$$\frac{\delta^2 t}{\delta x^2} = \frac{\gamma c}{\lambda} \frac{\delta t}{\delta x} \equiv h^2 \frac{\delta t}{\delta\tau}. \quad (1)$$

Il est usuel d'appeler cette équation l'équation de chaleur. C'est une équation différentielle aux dérivées partielles, de deuxième degré, à deux variables indépendantes, du type parabolique. La solution générale de cette équation doit en principe contenir deux fonctions arbitraires différentes, chacune d'un argument, les deux arguments étant exprimés explicitement en fonction des variables x, τ .

Parmi les propriétés générales des intégrales particulières de l'équation (1) on peut noter les suivantes:

(a) si $t = F(x, \tau)$ est une solution particulière, il en est de même pour $F(x - \xi, \tau - \vartheta)$, où ξ et ϑ sont des constantes arbitraires (c'est-à-dire quelconques);

(b) si $t = F(x, \tau)$ est une solution particulière, il en est de même pour $CF(x, \tau)$, où C est une constante arbitraire;

(c) si $t = F_1(x, \tau); t = F_2(x, \tau)$ etc., sont des solutions particulières, il en est de même pour $C_1 F_1 + C_2 F_2 + \dots$, où C_1, C_2, \dots sont des constantes arbitraires, car l'équation (1) est linéaire;

(d) si $t = F(x, \tau)$ est une solution particulière, il en est de même pour $\frac{\delta F}{\delta x}$ et aussi pour $\frac{\delta F}{\delta\tau}$.

L'intégrale fondamentale de l'équation (1) s'obtient comme suit: On cherche d'abord une solution particulière en forme du produit $t = X(x)T(\tau)$, où X et T sont des fonctions explicites de x et τ respectivement. En introduisant ceci dans (1) on obtient

$$X''T - h^2 X T' = 0,$$

ce qui est possible seulement si

$$\frac{X''}{X} = h^2 \frac{T'}{T} = \text{Const, par ex.} = -\alpha^2,$$

car les variables x et τ sont indépendantes l'une de l'autre. On en tire immédiatement:

$$X = \cos \alpha(x - \xi); T = C e^{-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta)} = C \exp\left[-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta)\right],$$

où α , C , ξ et ϑ sont des constantes arbitraires. On peut donc, par exemple, supposer $C = -\frac{2}{h^2\pi}$, ce qui nous donne une solution:

$$-\frac{2}{h^2\pi} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta)\right] \cos \alpha(x - \xi).$$

La somme d'un nombre quelconque de solutions du même genre, avec des valeurs différentes de α , sera aussi une solution particulière. Plus précisément, on peut prendre une intégrale par rapport à α , définie entre $\alpha = 0$ et $\alpha = \infty$, car c'est en effet aussi une somme. On obtient ainsi une solution qui s'appelle fondamentale:

$$U(x, \tau) = -\frac{2}{\pi h^2} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta)\right] \cos \alpha(x - \xi) d\alpha.$$

Pour résoudre l'intégrale définie, on applique d'abord la relation connue

$$\cos \alpha(x - \xi) = \cosh i\alpha(x - \xi) = \frac{1}{2} \exp[i\alpha(x - \xi)] + \frac{1}{2} \exp[-i\alpha(x - \xi)],$$

en obtenant

$$U = -\frac{1}{\pi h^2} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta) + i\alpha(x - \xi)\right] d\alpha - \frac{1}{\pi h^2} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta) - i\alpha(x - \xi)\right] d\alpha.$$

Ensuite on change les deux termes de l'exposant en une forme du carré de la somme de deux membres, en appliquant le procédé suivant:

$$-\frac{\alpha^2}{h^2}(\tau - \vartheta) \pm i\alpha(x - \xi) = \left(i\frac{\alpha}{h}\sqrt{\tau - \vartheta}\right)^2 \pm i\alpha(x - \xi) + \left[\frac{i\alpha(x - \xi)}{2i(\alpha/h)\sqrt{\tau - \vartheta}}\right]^2 - \left[\frac{i\alpha(x - \xi)}{2i(\alpha/h)\sqrt{\tau - \vartheta}}\right]^2 = \left[i\frac{\alpha}{h}\sqrt{\tau - \vartheta} \pm \frac{h(x - \xi)}{2\sqrt{\tau - \vartheta}}\right]^2 - \frac{h^2(x - \xi)^2}{4(\tau - \vartheta)}.$$

En introduisant en même temps une nouvelle variable d'intégration β définie comme suit

$$i\frac{\alpha}{h}\sqrt{\tau - \vartheta} \pm \frac{h(x - \xi)}{2\sqrt{\tau - \vartheta}} = \pm i\beta; d\alpha = \pm \frac{h}{\sqrt{\tau - \vartheta}} d\beta,$$

on obtient

$$U(x, \tau) = -\frac{\exp\left[-\frac{h^2(x - \xi)^2}{4(\tau - \vartheta)}\right]}{\pi h \sqrt{\tau - \vartheta}} \times \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta - \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta \right] \times \left[\begin{array}{c} -\frac{ih(x - \xi)}{2\sqrt{\tau - \vartheta}} \\ -\frac{ih(x - \xi)}{2\sqrt{\tau - \vartheta}} \end{array} \right]$$

$$= -\frac{\exp\left[-\frac{h^2(x - \xi)^2}{4(\tau - \vartheta)}\right]}{\pi h \sqrt{\tau - \vartheta}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta.$$

Ici, la valeur de l'intégrale définie, qui est une des formes de "l'intégrale des erreurs" de Gauss (voir l'Appendice), est $\sqrt{\pi}$. On a donc finalement

$$U(x, \tau) = -\frac{\exp\left[-\frac{h^2(x - \xi)^2}{4(\tau - \vartheta)}\right]}{\sqrt{\pi} h \sqrt{\tau - \vartheta}}, \quad (2)$$

où, dans les applications subséquentes, on posera $\vartheta = 0$ et on regardera ξ comme une variable d'intégration.

Pour établir la solution générale de l'équation de chaleur (1) on a aussi besoin d'une autre solution fondamentale (dite "de seconde espèce") qui s'obtient de la première par une simple dérivation:

$$W(x, \tau) = \frac{\delta U}{\delta x},$$

où on change la constante ξ en a en la laissant constante. Ainsi on obtient

$$W(x, \tau) = \frac{h(x - a)}{2\sqrt{\pi}(\tau - \vartheta)^{3/2}} \exp\left[-\frac{h^2(x - a)^2}{4(\tau - \vartheta)}\right], \quad (3)$$

où dans les applications subséquentes on regardera a comme une distance constante (positive, négative ou nulle), et ϑ comme une variable d'intégration.

4. SOLUTION GENERALE DE L'EQUATION DE CHALEUR

Pour aborder maintenant le problème de la solution générale on peut remarquer d'abord que les solutions fondamentales (2) et (3) peuvent être généralisées de façon à contenir des fonctions arbitraires. Notamment, dans le cas de $U(x, \tau)$, on peut prendre la somme des solutions de ce type pour toutes les valeurs de ξ entre $-\infty$ et $+\infty$, en multipliant chaque solution donnée pour une valeur de ξ par une constante qui est une fonction de ξ . En multipliant encore le tout par $-h^2/2$, on obtient:

$$t = \frac{h}{2\sqrt{\pi}\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi) \exp\left[-\frac{h^2(x - \xi)^2}{4\tau}\right] d\xi. \quad (4)$$

Pour trouver ce que cette solution donne au moment initial $\tau = 0$, on substitue une autre variable d'intégration β :

$$\frac{h(x - \xi)}{2\sqrt{\tau}} = \beta; \xi = x - \frac{2\sqrt{\tau}}{h}\beta; d\xi = -\frac{2\sqrt{\tau}}{h}d\beta,$$

en obtenant

$$t = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi\left(x - \frac{2\sqrt{\tau}}{h}\beta\right) \exp(-\beta^2) d\beta,$$

ce qui devient pour $\tau = 0$:

$$(t)_{\tau=0} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \varphi(x) \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta = \varphi(x). \quad (5)$$

La solution (4) permet donc d'imposer, comme condition aux limites, une distribution quelconque désirée des températures à travers la couche, au moment initial, car la fonction $\varphi(x)$ est tout à fait arbitraire.

Dans le cas de la solution fondamentale (3), une procédure similaire donne

$$t = \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h^2(x-a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}, \quad (6)$$

où $f(\vartheta)$ est une fonction tout à fait arbitraire. Une remarque au sujet des limites d'intégration est ici de mise. On voit notamment que l'expression sous le signe de l'intégrale devient imaginaire pour $\vartheta > \tau$; par conséquent, l'intégrale peut être subdivisée en deux parties:

$$t = \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h^2(x-a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} + i \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_{\tau}^{\infty} f(\vartheta) \exp\left[\frac{h^2(x-a)^2}{4(\vartheta-\tau)}\right] \frac{d\vartheta}{(\vartheta-\tau)^{3/2}},$$

où le premier terme est réel et le deuxième imaginaire. Puisque l'équation (1) est linéaire, il faut donc que chacun des deux termes la satisfasse séparément. On peut donc se débarrasser de la partie imaginaire, en posant

$$t = \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h^2(x-a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}, \quad (7)$$

Le lecteur peut aisément vérifier que la forme (7) satisfait l'équation (1). Pour trouver ce que cette solution donne sur le plan $x = a$, on substitue une autre variable d'intégration:

$$\frac{h(x-a)}{2\sqrt{\tau-\vartheta}} = \beta; \quad \vartheta = \tau - \frac{h^2(x-a)^2}{4\beta^2}; \quad d\vartheta = \frac{h^2(x-a)^2}{2\beta^3} d\beta,$$

on obtient

$$t = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} f\left[\tau - \frac{h^2(x-a)^2}{4\beta^2}\right] \exp(-\beta^2) d\beta, \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\tau}}$$

ce qui donne pour $x = a$:

$$(t)_{x=a} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} f(\tau) \int_0^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta = f(\tau). \quad (8)$$

Ce résultat est cependant valable seulement si $(x-a)$ approche zéro par valeurs positives. Dans l'autre cas, la limite supérieure de l'intégrale, tout en restant infiniment grande, devient négative, et par conséquent

$$(t)_{x-a=-0} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} f(\tau) \int_0^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta = -f(\tau). \quad (8')$$

On voit que la solution (7) permet d'imposer, comme condition aux limites, une variation quel-

conque désirée de la température avec le temps dans un plan choisi dans la masse de la couche.

Pour remplir les deux conditions, (5) et (8), simultanément, il faut combiner les solutions (4) et (7) comme suit. Au lieu de la fonction $f(\vartheta)$ dans la solution (7), on prend

$$f(\vartheta) = \frac{h}{2\sqrt{\pi\vartheta}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi) \exp\left[-\frac{h^2(a-\xi)^2}{4\vartheta}\right] d\xi,$$

ce qui est aussi une fonction de ϑ seul. Ensuite on prend la somme de (7) avec ce changement, et de (5). On obtient

$$t = \frac{h}{2\sqrt{\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi) \exp\left[-\frac{h^2(x-\xi)^2}{4\tau}\right] d\xi + \frac{h(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \left\{ f(\vartheta) - \frac{h}{2\sqrt{\pi\vartheta}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi) \exp\left[-\frac{h^2(a-\xi)^2}{4\vartheta}\right] d\xi \right\} \times \exp\left[-\frac{h^2(x-a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}, \quad (9)$$

où on suppose $\varphi(a) = f(0)$. En effet, pour $x = a$ ceci donne $t = f(\tau)$ et pour $\tau = 0$, $t = \varphi(x)$, car le deuxième terme devient dans ce dernier cas nul, les limites de l'intégrale s'égalisant pour $\tau = 0$.

5. APPLICATION AU CAS DE DEUX MILIEUX SOLIDES EN CONTACT SUIVANT UN PLAN

Considérons d'abord un corps solide A dont les constantes physiques telles que spécifiées dans la section 2, sont $\lambda_1, \gamma_1, c_1, h_1$. Ce corps solide est borné du côté gauche par le plan $x = 0$ et qui s'étend de l'autre côté jusqu'à $x = \infty$ et aussi jusqu'à l'infini dans les directions perpendiculaires à la direction x . Considérons ensuite un autre corps solide B, dont les constantes physiques sont $\lambda_2, \gamma_2, c_2, h_2$. Ce corps solide B est borné du côté droit par le même plan $x = 0$ et il s'étend jusqu'à $x = -\infty$ et aussi dans les autres directions jusqu'à l'infini. Supposons qu'au moment initial la température du corps A est uniforme, égale à t_a (constante) et la température du corps B est aussi uniforme et égale à t_b . Les deux corps entrent en contact au moment initial, suivant la surface $x = 0$, et la chaleur commence à s'écouler du corps plus chaud (supposons pour fixer les idées que ce soit A, donc $t_a > t_b$) au corps plus froid.

Pour définir la distribution des températures dans la direction x dans les deux corps à un moment quelconque, appliquons la formule générale (9) à chacun des deux corps. On a évidemment pour le corps A $\varphi(\xi) = \varphi_a(\xi) = t_a$ et pour le corps B $\varphi(\xi) = \varphi_b(\xi) = t_b$. En supposant ensuite pour le corps A $f(\vartheta) = f_a(\vartheta) + t_a$ et pour le corps B $f(\vartheta) = f_b(\vartheta) + t_b$, on pourrait dire que les fonctions f_a et f_b expriment les déviations des températures des deux corps des valeurs initiales t_a et t_b respectivement, au fur et à mesure que le temps s'écoule. Soit $t_1(x, \tau)$ la température du corps A et

$t_2(x, \tau)$ la température du corps B. On obtient de (9), en posant $a = 0$:

$$x > 0: t_1 = \frac{h_1 t_a}{2\sqrt{\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{h_1^2(x-\xi)^2}{4\tau}\right] d\xi + \frac{h_1 x}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \left\{ f_a(\vartheta) + t_a - \frac{h_1 t_a}{2\sqrt{\pi\vartheta}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{h_1^2 \xi^2}{4\vartheta}\right) d\xi \right\} \times \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}; \quad (10)$$

$$x < 0: t_2 = \frac{h_2 t_b}{2\sqrt{\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{h_2^2(x-\xi)^2}{4\tau}\right] d\xi - \frac{h_2 x}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \left\{ f_b(\vartheta) + t_b - \frac{h_2 t_b}{2\sqrt{\pi\vartheta}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{h_2^2 \xi^2}{4\vartheta}\right) d\xi \right\} \times \exp\left[-\frac{h_2^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}. \quad (11)$$

En introduisant dans les intégrales dans lesquelles la variable d'intégration est ξ des nouvelles variables d'intégration transformant ces intégrales en l'intégrale de Gauss, les formules (10) et (11) se simplifient à:

$$t_1 = t_a + \frac{h_1 x}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f_a(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}; \quad (10')$$

$$t_2 = t_b - \frac{h_2 x}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f_b(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_2^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}. \quad (11')$$

Ce système d'équations contient deux fonctions inconnues f_a et f_b qui pourront être déterminées en satisfaisant aux deux conditions. La première est basée sur la supposition d'un contact parfait entre les deux corps, assurant la condition:

$$(t_1)_{x=0} = (t_2)_{x=0} = -0. \quad (12)$$

La deuxième est tout simplement la condition de conservation de l'énergie (dans ce cas de la chaleur). Pour la satisfaire il faut nécessairement que le courant de chaleur à travers la surface $x = 0$ du corps A soit égal au courant de chaleur à travers la surface $x = -0$ du corps B:

$$(j_1)_{x=0} = (j_2)_{x=-0}. \quad (13)$$

En considérant (10') et (11'), la condition (12) se réduit à

$$f_a(\tau) + t_a = f_b(\tau) + t_b. \quad (12')$$

Pour satisfaire à la condition (13), c'est à dire

$$\left(-\lambda_1 \frac{\delta t_1}{\delta x}\right)_{x=0} = \left(-\lambda_2 \frac{\delta t_2}{\delta x}\right)_{x=-0},$$

on calcule d'abord

$$-\lambda_1 \frac{\delta t_1}{\delta x} = -\frac{\lambda_1 h_1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f_a(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}$$

$$+ \frac{\lambda h_1^2 x^2}{4\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f_a(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{5/2}}.$$

En intégrant la deuxième intégrale par parties:

$$-\frac{\lambda_1 h_1 f_a(\vartheta)}{\sqrt{\pi} \sqrt{\tau-\vartheta}} = U; \\ -\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)^2} \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] d\vartheta = dV,$$

on obtient

$$-\lambda_1 \frac{\delta t_1}{\delta x} = \frac{\lambda_1 h_1 f_a(0)}{\sqrt{\pi\tau}} + \frac{\lambda_1 h_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f'_a(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}}.$$

De façon similaire

$$-\lambda_2 \frac{\delta t_2}{\delta x} = -\frac{\lambda_2 h_2 f_b(0)}{\sqrt{\pi\tau}} - \frac{\lambda_2 h_2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} f'_b(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_2^2 x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}}.$$

Par conséquent, la condition (13) devient

$$\lambda_1 h_1 \left[\frac{f_a(0)}{\sqrt{\tau}} + \int_0^{\tau} f'_a(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} \right] + \lambda_2 h_2 \left[\frac{f_b(0)}{\sqrt{\tau}} + \int_0^{\tau} f'_b(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} \right] = 0. \quad (13')$$

La formule (12') permet d'éliminer immédiatement une des deux fonctions inconnues:

$$f'_b(\tau) = f'_a(\tau); \quad f_b(0) = f_a(0) + t_a - t_b; \\ \int_0^{\tau} f'_a(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = -\left[f_a(0) + \frac{\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \right] \frac{1}{\sqrt{\tau}}. \quad (14)$$

C'est une équation intégrale d'Abel (Réf. 2, t. III, p. 341) qu'on peut résoudre comme suit. On remplace dans la formule (14) τ par α ; on multiplie l'équation par $\frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}}$ et ensuite on prend l'intégrale définie de $\alpha = 0$ à $\alpha = \tau$. On obtient ainsi

$$\int_0^{\tau} \frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}} \int_0^{\alpha} f'_a(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\alpha-\vartheta}} = \\ -\left[f_a(0) + \frac{\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \right] \int_0^{\tau} \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha(\tau-\alpha)}}.$$

En appliquant la formule de Dirichlet (formule (4) de l'Appendice), le terme gauche devient

$$\int_0^{\tau} f'_a(\vartheta) d\vartheta \int_0^{\tau} \frac{d\alpha}{\sqrt{(\alpha-\vartheta)(\tau-\alpha)}}.$$

En appliquant ensuite les solutions des intégrales (5) et (6) de l'Appendice, on obtient:

$$f_a(\tau) = -\frac{\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} = \text{Const} = f_a(0), \quad (15)$$

et d'après (12'):

$$f_b(\tau) = f_a(\tau) + t_a - t_b = \frac{\lambda_1 h_1 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} = \text{Const} = f_b(0). \quad (16)$$

On peut maintenant exprimer explicitement les températures des corps A et B, en partant de (10') et (11'):

$\infty \gg x \gg 0$:

$$t_1(x, \tau) = t_a - \frac{h_1 \lambda_2 h_2 (t_a - t_b) x}{2\sqrt{\pi}(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \int_0^\tau \exp\left[-\frac{h_1^2 x^2}{4(\tau - \vartheta)}\right]$$

$$\times \frac{d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2}} = t_a - \frac{2\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{\sqrt{\pi}(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \int_0^\infty \exp(-\alpha^2) d\alpha =$$

$$t_a - \frac{\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} + \frac{2\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{\sqrt{\pi}(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \int_0^{\frac{h_1 x}{2\sqrt{\tau}}} \exp(-\alpha^2) d\alpha =$$

$$\frac{\lambda_2 h_2 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \Theta\left(\frac{h_1 x}{2\sqrt{\tau}}\right) + \frac{\lambda_1 h_1 t_a + \lambda_2 h_2 t_b}{\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2}, \quad (17)$$

où Θ est la fonction de Gauss (voir formule (2) de l'Appendice). De façon similaire on obtient

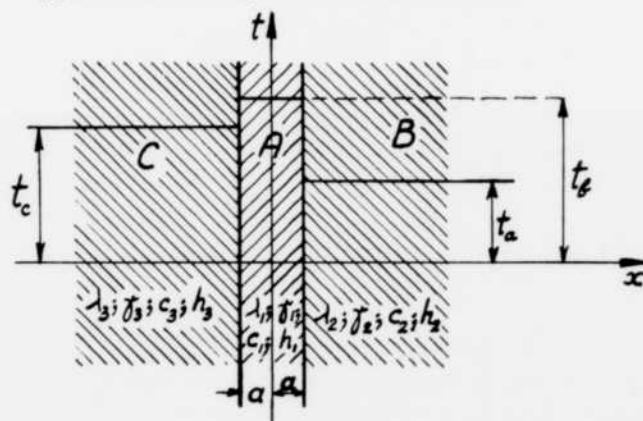


Fig. 1

$-\infty \leq x \leq 0$:

$$t_2(x, \tau) = \frac{\lambda_1 h_1 (t_a - t_b)}{(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} \Theta\left(\frac{h_2 x}{2\sqrt{\tau}}\right) + \frac{\lambda_1 h_1 t_a + \lambda_2 h_2 t_b}{\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2}. \quad (18)$$

La température à la surface de contact s'obtient soit de (17) soit de (18) en posant $x = 0$:

$$t_s = (t_1)_{x=0} = (t_2)_{x=0} = \frac{\lambda_1 h_1 t_a + \lambda_2 h_2 t_b}{\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2}, \quad (19)$$

c'est-à-dire elle ne change pas avec le temps.

Les formules (17) et (18) sont présentées graphiquement dans la Fig. 1.

6. L'INTERPRETATION PHYSIQUE DE LA SOLUTION DE LA SECTION PRECEDENTE

La formule (19) exprimant la température sur la surface de contact de deux corps est évidemment

valide seulement dans les conditions spécifiées de deux corps s'étendant vers l'infini et ayant le contact suivant une surface plate. Mais si on regarde la température t_s comme une température *initiale* (au moment du contact, $\tau = 0$), il serait logique et très vraisemblable de supposer qu'elle ne peut être influencée que par les propriétés et les grandeurs physiques ou conditions géométriques des deux corps dans le voisinage immédiat du point de contact (dans lequel on mesure la température) seulement et, par conséquent, qu'elle ne dépend pas de la grandeur ou de la forme géométrique de deux corps ni de la forme de la surface de contact. On peut donc regarder la valeur

$$(t_s)_{\tau=0} = \frac{\lambda_1 h_1 t_a + \lambda_2 h_2 t_b}{\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2} = \frac{\sqrt{\lambda_1 h_1 c_1} t_a + \sqrt{\lambda_2 h_2 c_2} t_b}{\sqrt{\lambda_1 h_1 c_1} + \sqrt{\lambda_2 h_2 c_2}}, \quad (20)$$

comme une formule tout à fait générale pour la température au point et au moment de contact de deux corps physiquement différents, dont les températures sont uniformes avant le contact (au moins au voisinage immédiat du point de contact)—quelles que soient les formes géométriques de deux corps et la forme de la surface de contact.

L'auteur de cet article a appliqué dans le passé cette formule à un nouveau principe d'un appareil pour mesurer la conductibilité thermique en supposant que le raisonnement ci-dessus est justifié. Le processus des mesures était comme suit: Un récipient de cuivre rempli d'eau, d'une température définie par mesure, est mis en contact avec le matériel essayé (dont la température est aussi définie) et la température au point de contact est enregistrée en fonction du temps à l'aide d'un thermocouple et un pyromètre enregistreur automatique. La température initiale est ensuite déduite par extrapolation graphique. Finalement, le coefficient de conductibilité est calculé de la formule (20), λ_1 , γ_1 et c_1 , pour le cuivre étant donnés et γ_2 , c_2 du matériel essayé étant définis par d'autres mesures.

La validité générale de la formule (20) peut être confirmée par les faits expérimentaux observables et bien connus. Dans ce but la formule (20) peut être développée comme suit. Soit, pour fixer les idées, $t_a > t_b$, donc $t_a > t_s > t_b$.

On trouve

$$t_a - t_s = \frac{(t_a - t_b)}{1 + \sqrt{\frac{\lambda_1 h_1 c_1}{\lambda_2 h_2 c_2}}}; \quad t_s - t_b = \frac{(t_a - t_b)}{1 + \sqrt{\frac{\lambda_2 h_2 c_2}{\lambda_1 h_1 c_1}}},$$

d'où on voit que si le corps A est un bon conducteur (λ_1 grand) et B un mauvais conducteur de chaleur (λ_2 petit), la température initiale au point de contact devient très voisine de la température initiale du premier corps et vice versa. Cette température est donc toujours plus près de la température initiale du matériel qui est le meilleur conducteur de la chaleur, que ce soit le matériel plus chaud ou plus

troid. Ceci ne peut être expliqué physiquement par le fait de la conductibilité élevée seule, référée à toute la masse du corps, parce qu'il s'agit ici d'une valeur momentanée de la température qui n'a pas le temps d'être influencée par le phénomène physique de la conduction de la chaleur venant de l'intérieur du corps. On sait qu'un métal froid pique comme une aiguille quand on le touche avec l'articulation d'un doigt; mais si on le recouvre avec une couche, même extrêmement mince, de papier (qui est plutôt un isolant, possédant λ_1 très petit), la sensation de piquûre disparaît, et la sensation du froid vient une fraction de seconde plus tard. On peut encore ajouter que ce n'est pas la conduction élevée seule qui crée le phénomène mais la valeur élevée du produit $\lambda\gamma c$. On peut imaginer un matériel manifestant une conduction de chaleur très élevée mais qui est très léger (γ petit) et dont la chaleur spécifique c est très petite. Dans ce cas le phénomène de piquûre peut être réduit considérablement.

On sait par expérience que si l'on touche avec la main (qui est du "matériel" d'une conduction moyenne) une manivelle froide, elle semble très froide et difficile à saisir si elle est métallique; mais une manivelle de même température, en bois, est plutôt facile à saisir sans une sensation de répugnance. Les sensations psycho-physiologiques avec une manivelle plus chaude que la main sont similaires; si une manivelle en bois se laisse facilement saisir sans une sensation déplaisante, une manivelle de même température, mais en métal, semble brûler la main et est intenable.

On peut dire que l'articulation d'un doigt humain est une sorte d'appareil naturel servant à mesurer la conductibilité thermique. Avec l'exercice on peut apprendre à distinguer non seulement les matériaux conducteurs des matériaux non-conducteurs (la laine semble être si "chaude" par exemple) mais aussi les métaux, les uns des autres. Par exemple, avec une certaine expérience on sent que le cuivre est très "froid" tandis que l'étain l'est moins, mais plus froid que l'acier. Ceci est, cependant, vrai à une condition seulement: le poli de la surface doit être le même dans tous les cas, car sur les surfaces polies on observe un autre phénomène, notamment la radiation, qui peut influencer la température de la surface.

7. APPLICATION AU CAS D'UNE COUCHE D'ÉPAISSEUR CONSTANTE EN CONTACT AVEC DEUX MILIEUX SOLIDES, UN SUR CHAQUE CÔTÉ

Ce cas, présenté dans la Fig. 2, qui correspond au moment initial, peut être défini comme suit:

La couche du matériel solide A, dont les constantes physiques sont $\lambda_1, \gamma_1, c_1, h_1$, s'étend de $x = -a$

jusqu'à $x = a$, et jusqu'à l'infini dans les deux autres sens. Sur le plan $x = a$ elle est en contact

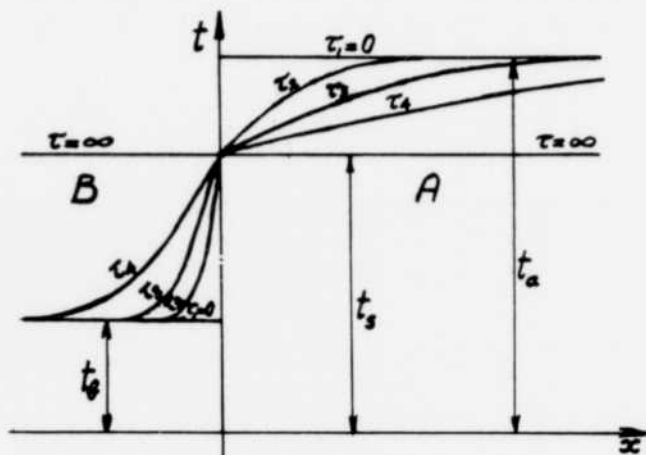


Fig. 2

avec le milieu solide B, dont les constantes physiques sont $\lambda_2, \gamma_2, c_2, h_2$ et qui s'étend de $x = a$ jusqu'à $x = \infty$ et aussi jusqu'à l'infini dans les deux autres sens. Enfin sur le plan $x = -a$, la couche A est en contact avec un autre milieu solide C, dont les constantes physiques sont $\lambda_3, \gamma_3, c_3, h_3$, et qui s'étend de $x = -a$ jusqu'à $x = -\infty$ et aussi jusqu'à l'infini dans les deux autres sens. Les températures initiales (au moment $\tau = 0$) des trois solides A, B, C, sont différentes mais uniformes et égales respectivement à t_a, t_b et t_c . On veut trouver la distribution des températures dans les trois corps à un moment quelconque τ , et plus particulièrement les variations des températures sur les plans de contact, $x = a$ et $x = -a$, en fonction du temps.

En désignant les températures des corps A, B, C, respectivement par $t_1(x, \tau), t_2(x, \tau), t_3(x, \tau)$, on pose $t_1 = t_a +$

$$\frac{h_1(x+a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2(x+a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} + \frac{h_1(a-x)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_1^2(a-x)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}; \quad (21)$$

$$t_2 = t_b + \frac{h_2(x-a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h_2^2(x-a)^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}; \quad (22)$$

$$t_3 = t_c - \frac{h_3(x+a)}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f_c(\vartheta) \times \exp\left\{\frac{-h_3^2[-(x+a)]^2}{4(\tau-\vartheta)}\right\} \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}; \quad (23)$$

où les quatre fonctions, f_{-a}, f_{+a}, f_b, f_c sont pour l'instant inconnues. Pour les définir il faudra donc établir quatre équations exprimant certaines conditions physiques. Les formes (21), (22), (23) satisfont évidemment aux conditions initiales.

$(t_1)_{\tau=0} = t_a; (t_2)_{\tau=0} = t_b; (t_3)_{\tau=0} = t_c$
 excepté pour $x = a$ et $x = -a$.

Les quatre conditions physiques à remplir sont les suivantes:

$$(t_1)_{x-a} = -0 = (t_2)_{x-a} = +0;$$

$$(t_1)_{x+a} = +0 = (t_3)_{x+a} = -0;$$

$$(j_1)_{x-a} = -0 \equiv \left(-\lambda_1 \frac{\delta t_1}{\delta x}\right)_{x-a} = -0 =$$

$$(j_2)_{x-a} = +0 \equiv \left(-\lambda_2 \frac{\delta t_2}{\delta x}\right)_{x-a} = +0;$$

$$(j_1)_{x+a} = +0 \equiv \left(-\lambda_1 \frac{\delta t_1}{\delta x}\right)_{x+a} = +0 =$$

$$(j_3)_{x+a} = -0 \equiv \left(-\lambda_3 \frac{\delta t_3}{\delta x}\right)_{x+a} = -0.$$

En appliquant les formes (21), (22), et (23) ces conditions donnent consécutivement les quatre équations définissant les quatre fonctions inconnues:

$$f_{+a}(\tau) + \frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f_{-a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} + t_a = f_b(\tau) + t_b; \quad (24)$$

$$f_{-a}(\tau) + \frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f_{+a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} + t_a = f_c(\tau) + t_c; \quad (25)$$

$$\frac{\lambda_1 h_1 f_{-a}(0)}{\sqrt{\pi \tau}} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau}\right) + \frac{\lambda_1 h_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_{-a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{\lambda_1 h_1 f_{+a}(0)}{\sqrt{\pi \tau}} - \frac{\lambda_1 h_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_{+a}(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = \frac{\lambda_2 h_2 f_b(0)}{\sqrt{\pi \tau}} + \frac{\lambda_2 h_2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_b(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}}; \quad (26)$$

$$\frac{\lambda_1 h_1 f_{-a}(0)}{\sqrt{\pi \tau}} + \frac{\lambda_1 h_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_{-a}(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{\lambda_1 h_1 f_{+a}(0)}{\sqrt{\pi \tau}} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau}\right) - \frac{\lambda_1 h_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_{+a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = -\frac{\lambda_3 h_3 f_c(0)}{\sqrt{\pi \tau}} - \frac{\lambda_3 h_3}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'_c(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}}. \quad (27)$$

En posant dans ce système d'équations $\tau = 0$, on obtient:

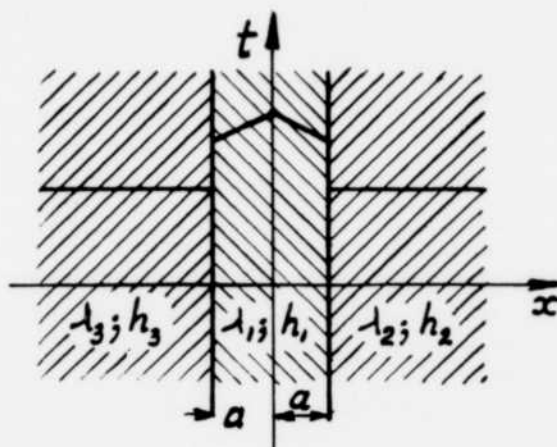


Fig. 3

$$f_{+a}(0) - f_b(0) = t_b - t_a;$$

$$f_{-a}(0) - f_c(0) = t_c - t_a;$$

$$\lambda_1 h_1 f_{+a}(0) + \lambda_2 h_2 f_b(0) = 0;$$

$$\lambda_1 h_1 f_{-a}(0) + \lambda_3 h_3 f_c(0) = 0,$$

d'où les valeurs initiales des fonctions se définissent comme suit:

$$f_{+a}(0) = -\frac{1}{2}(1 - k_1)(t_a - t_b);$$

$$f_b(0) = \frac{1}{2}(1 + k_1)(t_a - t_b);$$

$$f_{-a}(0) = -\frac{1}{2}(1 - k_2)(t_a - t_c);$$

$$f_c(0) = \frac{1}{2}(1 + k_2)(t_a - t_c),$$

où on a désigné, pour raccourcir l'écriture:

$$k_1 = \frac{\lambda_1 h_1 - \lambda_2 h_2}{\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2}; \quad k_2 = \frac{\lambda_1 h_1 - \lambda_3 h_3}{\lambda_1 h_1 + \lambda_3 h_3}.$$

En substituant ces valeurs initiales dans les formules (26) et (27), ces dernières changent en:

$$\int_0^\tau f'_{-a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \int_0^\tau f'_{+a}(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{(1 - k_1)}{(1 + k_1)} \int_0^\tau f'_b(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = \frac{(1 - k_2)(t_a - t_c)}{2\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau}\right); \quad (26')$$

$$\int_0^\tau f'_{+a}(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \int_0^\tau f'_{-a}(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{(1 - k_2)}{(1 + k_2)} \int_0^\tau f'_c(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = \frac{(1 - k_1)(t_a - t_b)}{2\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau}\right). \quad (27')$$

On a ainsi obtenu le système de quatre équations intégrales (24), (25), (26') et (27'), contenant quatre fonctions inconnues. Pour les résoudre il faut d'abord

séparer les inconnues. Dans ce but on détermine d'abord les dérivées des équations (24) et (25) par rapport au temps. Puisque la limite de l'expression sous le signe de l'intégrale dans la formule (24) est zéro pour $\vartheta = \tau$, on obtient:

$$f'_b(\tau) = f'_a(\tau) - \frac{3h_1a}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} + \frac{h_1^3a^3}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{(\tau-\vartheta)}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{7/2}}.$$

En intégrant ensuite la deuxième intégrale par parties:

$$-\frac{h_1af'(\vartheta)}{\sqrt{\pi}(\tau-\vartheta)^{3/2}} = U; \quad -\frac{h_1^2a^2}{(\tau-\vartheta)^2} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) d\vartheta = dV,$$

on obtient

$$f'_b(\tau) = f'_a(\tau) + \frac{h_1a}{\sqrt{\pi}\tau^{3/2}} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau}\right) f(0) + \frac{h_1a}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} = \frac{f'_a(\tau)}{+a} - \frac{(1-k_2)h_1a(t_a-t_c)}{2\sqrt{\pi}\tau^{3/2}} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau}\right) + \frac{h_1a}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}. \quad (28)$$

De façon similaire, on dérivant l'équation (25), on obtient

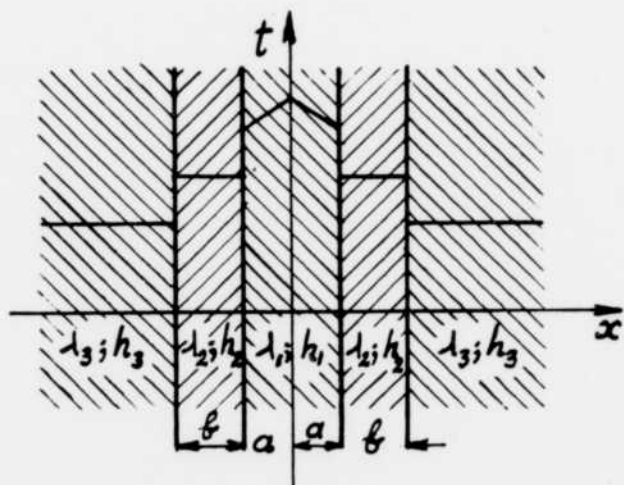


Fig. 4

$$f'_c(\tau) = f'_a(\tau) - \frac{(1-k_1)h_1a(t_a-t_b)}{2\sqrt{\pi}\tau^{3/2}} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau}\right) + \frac{h_1a}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}. \quad (29)$$

On peut maintenant éliminer les fonctions $f'_b(\tau)$ et $f'_c(\tau)$ en introduisant (28) et (29) dans (26') et (27') respectivement. On obtient d'abord:

$$\int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \int_0^\tau f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{(1-k_1)}{(1+k_1)} \int_0^\tau f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} + \frac{(1-k_1)(1-k_2)h_1a(t_a-t_c)}{2(1+k_1)\sqrt{\pi}} \times \int_0^\tau \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} \sqrt{\tau-\vartheta}} - \frac{(1-k_1)h_1a}{(1+k_1)\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}} \times \int_0^\alpha f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\alpha-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\alpha-\vartheta)^{3/2}} - \frac{(1-k_2)(t_a-t_c)}{2\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau}\right) = 0.$$

La quatrième intégrale de cette expression se résout d'après la forme (7) et la cinquième d'après la forme (9) de l'Appendice, après avoir appliqué dans le deuxième cas la formule de Dirichlet (formule (4) de l'Appendice):

$$\int_0^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}} \int_0^\alpha f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\alpha-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} = \int_0^\tau f'(\vartheta) d\vartheta \int_\vartheta^\tau \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\alpha-\vartheta}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha-\vartheta)^{3/2} \sqrt{\tau-\alpha}}.$$

On obtient finalement:

$$\int_0^\tau f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - k_1 \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} + \frac{k_1(1-k_2)(t_a-t_c)}{2\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{h_1^2a^2}{\tau}\right) = 0. \quad (30)$$

De façon similaire on élimine f'_c en introduisant (29) dans (27). On obtient finalement:

$$\int_0^\tau f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} - k_2 \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left(\frac{h_1^2a^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} + \frac{k_2(1-k_1)(t_a-t_b)}{2\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{k_2^2a^2}{\tau}\right) = 0. \quad (31)$$

Les équations intégrales (30) et (31) contiennent seulement deux fonctions inconnues f_{+a} et f_{-a} et il est facile d'en éliminer une. Par exemple, pour éliminer f_{-a} on substitue dans l'équation (31) α pour τ , on multiplie l'équation par $\frac{d\alpha}{\pi\sqrt{\tau-\alpha}}$ et on fait l'intégration de $\alpha = 0$ à $\alpha = \pi$. En appliquant la formule de Dirichlet (ég. (4) de l'Appendice), ainsi que les formes (10) et (11) de l'Appendice, on obtient:

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\tau} \frac{f'_{-a}(\vartheta) d\vartheta}{-a} \int_0^{\tau} \frac{d\alpha}{\sqrt{(\alpha - \vartheta)(\tau - \alpha)}} - \frac{k_2}{\pi} \int_0^{\tau} \frac{f'_{+a}(\vartheta) d\vartheta}{+a}$$

$$\times \int_0^{\tau} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\alpha - \vartheta}\right) \frac{d\alpha}{\sqrt{(\alpha - \vartheta)(\tau - \alpha)}} +$$

$$\frac{k_2(1 - k_1)(t_a - t_b)}{2\pi} \int_0^{\tau} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\alpha}\right) \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha(\tau - \alpha)}} = 0;$$

$$f_{-a}(\tau) = k_2 \int_0^{\tau} \frac{f'_{+a}(\vartheta)}{+a} \left[1 - \theta\left(\frac{h_1 a}{\sqrt{\tau - \vartheta}}\right) \right] d\vartheta -$$

$$\frac{1}{2} k_2 (1 - k_1) (t_a - t_b) \left[1 - \theta\left(\frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}}\right) \right] - \frac{1}{2} (1 - k_2) (t_a - t_c),$$

où on a substitué la valeur de $f_{-a}(0)$ trouvée plus haut. L'intégrale du membre droit de cette équation peut être intégrée par parties en désignant

$$f'_{+a}(\vartheta) d\vartheta = dV; \quad 1 - \theta\left(\frac{h_1 a}{\sqrt{\tau - \vartheta}}\right) = U;$$

$$dU = -\frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2}}.$$

On obtient

$$f_{-a}(\tau) = k_2 \frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \frac{f(\vartheta) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau - \vartheta}\right) d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2}} -$$

$$\frac{1}{2} (1 - k_2) (t_a - t_c). \quad (31')$$

En opérant de façon identique avec l'équation (30), on voit qu'il suffit de remplacer dans (31') f_{-a} par f_{+a} , k_2 par k_1 , k_1 par k_2 , et t_c par t_b pour obtenir le résultat final:

$$f_{+a}(\tau) = k_1 \frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \frac{f(\alpha) \exp\left(-\frac{h^2_1 a^2}{\tau - \alpha}\right) d\alpha}{(\tau - \alpha)^{3/2}} -$$

$$\frac{1}{2} (1 - k_1) (t_a - t_b), \quad (30')$$

où on a remplacé la variable d'intégration ϑ par α pour faciliter les opérations qui vont suivre.

En éliminant f_{-a} de (30') et (31) et en appliquant les formules (3), (4) et (13) de l'Appendice, on obtient finalement:

$$f_{+a}(\tau) = 2k_1 k_2 \frac{h_1 a}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \frac{f(\vartheta) \exp\left(-\frac{4h^2_1 a^2}{\tau - \vartheta}\right) d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2}} +$$

$$\left\{ \frac{1}{2} k_1 (1 - k_2) (t_a - t_c) \theta\left(\frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}}\right) - \right.$$

$$\left. \frac{1}{2} \left[(1 - k_1 k_2) t_a - (1 - k_1) t_b - k_1 (1 - k_2) t_c \right] \right\}. \quad (32)$$

C'est une équation intégrale du type Volterra, de seconde espèce:

$$f(\tau) = \int_0^{\tau} f(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta + \varphi(\tau),$$

où f est la fonction cherchée, $K(\tau, \vartheta)$ est un noyau explicitement connu et φ est une fonction explicitement donnée (voir Réf. (2), T. III, p. 324).

Cette équation se résout par les itérations successives. On pose d'abord

$$f(\tau) = \mu \int_0^{\tau} f(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta + \varphi(\tau),$$

où après l'exécution des itérations on substituera $\mu = 1$. Ensuite on suppose

$$f(\tau) = f_0(\tau) + \mu f_1(\tau) + \mu^2 f_2(\tau) + \dots$$

En l'introduisant dans l'équation intégrale, on obtient $f_0(\tau) + \mu f_1(\tau) + \mu^2 f_2(\tau) + \dots = \varphi(\tau) +$

$$\mu \int_0^{\tau} f_0(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta + \mu^2 \int_0^{\tau} f_1(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta + \dots$$

En identifiant sur les deux côtés de l'équation les termes de même puissance en μ , on obtient

$$f_0(\tau) = \varphi(\tau); \quad f_1(\tau) = \int_0^{\tau} \varphi(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta;$$

$$f_2(\tau) = \int_0^{\tau} f_1(\vartheta) K(\tau, \vartheta) d\vartheta =$$

$$\int_0^{\tau} K(\tau, \vartheta) d\vartheta \int_0^{\vartheta} \varphi(\alpha) K(\tau, \alpha) d\alpha,$$

etc. Ainsi on obtient la solution sous la forme d'une série:

$$f(\tau) = f_0(\tau) + f_1(\tau) + f_2(\tau) + \dots$$

qui est convergente si f est continue entre 0 et τ , si $K(\tau, \vartheta)$ est continue dans le triangle $\tau = 0$, $\vartheta = 0$, $\vartheta = \pi$, et si $\varphi(\tau)$ est continue ou au moins possédant un nombre fini de discontinuités.

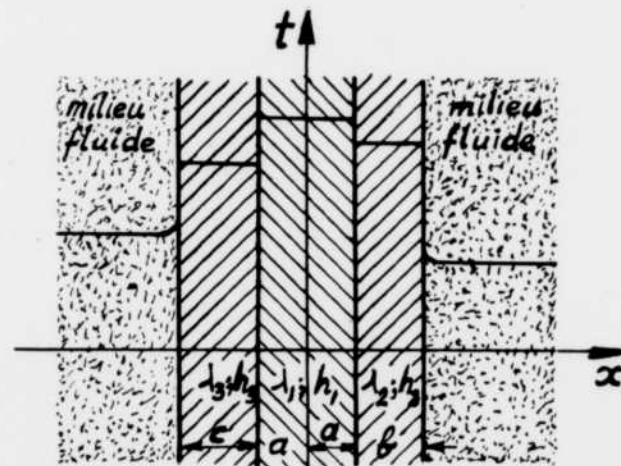


Fig. 5

En appliquant cette méthode à l'équation (32) et en se servant des formes (18), (3) et (4) de l'Appendice, on obtient finalement:

$$f(\tau) = \frac{1}{2} k_1 (1 - k_2) (t_a - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} (k_1 k_2)^{n-1} \Theta \left[\frac{(2n-1) h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right] + \frac{1}{2} k_1 (1 - k_1) k_2 (t_a - t_b) \sum_{n=1}^{\infty} (k_1 k_2)^{n-1} \Theta \left(\frac{2n h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right) - \frac{1}{2} t_a + \frac{(1 - k_1)}{2(1 - k_1 k_2)} t_b + \frac{k_1 (1 - k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_c. \quad (33)$$

En substituant (33) dans (31') on trouve ensuite

$$f(\tau) = \frac{1}{2} k_2 (1 - k_1) (t_a - t_b) \sum_{n=1}^{\infty} (k_1 k_2)^{n-1} \Theta \left[\frac{(2n-1) h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right] + \frac{1}{2} k_1 k_2 (1 - k_2) (t_a - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} (k_1 k_2)^{n-1} \Theta \left(\frac{2n h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right) - \frac{1}{2} t_a + \frac{(1 - k_1) k_2}{2(1 - k_1 k_2)} t_b + \frac{(1 - k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_c. \quad (34)$$

Par conséquent la température dans le plan $x = a$ (au contact entre la couche A et le corps B) devient, d'après (21):

$$(t_s)_{x=a} = \frac{(1 - k_2) \sqrt{k_2}}{2\sqrt{k_1}} (t_a - t_b) \sum_{n=1}^{\infty} (\sqrt{k_1 k_2})^{2n-1} \Theta \left(2n \frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right) + \frac{1}{2} (1 + k_1) (1 - k_2) (t_a - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} (\sqrt{k_1 k_2})^{2(n-1)} \Theta \left[\frac{(2n-1) h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right] + \frac{(1 - k_1)(1 + k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_b + \frac{(1 + k_1)(1 - k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_c. \quad (35)$$

et la température dans le plan $x = -a$ (au contact entre la couche A et le corps C):

$$(t_s)_{x=-a} = \frac{(1 - k_2) \sqrt{k_1}}{2\sqrt{k_2}} (t_a - t_c) \sum_{n=1}^{\infty} (\sqrt{k_1 k_2})^{2n-1} \Theta \left(2n \frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right) + \frac{1}{2} (1 - k_1) (1 + k_2) (t_a - t_b) \sum_{n=1}^{\infty} (\sqrt{k_1 k_2})^{2(n-1)} \Theta \left[\frac{(2n-1) h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right] + \frac{(1 - k_1)(1 + k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_b + \frac{(1 + k_1)(1 - k_2)}{2(1 - k_1 k_2)} t_c. \quad (36)$$

Il faut noter que dans ces deux cas on obtient bien la forme (19) ou (20) en posant $\tau = 0$. Ceci prouve davantage l'hypothèse faite au sujet de la validité générale des formules (19) et (20).

Il serait maintenant plutôt facile de définir les fonctions f_b et f_c des formules (24) et (25) respectivement et de trouver ensuite les expressions générales pour t_1 , t_2 et t_3 , d'après (21), (22) et (23) respectivement. On laisse le soin de le faire aux lecteurs qui sont particulièrement intéressés.

Un cas particulier qu'on peut appeler "symétrique" se laisse facilement déduire du précédent. Dans ce cas on suppose que les corps B et C sont du même matériel ($\lambda_3 = \lambda_2$; $h_3 = h_2$, etc.) et qu'ils possèdent la même température initiale ($t_c = t_b$). On a donc $k_1 = k_2 = k$; $f_{-a} = f_{+a}$; $f_c = f_b$ et

$$(t_s)_{x=a} = \frac{1}{2} (1 - k^2) (t_a - t_b) \sum_{n=0}^{\infty} k^n \Theta \left[(n+1) \frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right] + t_b = (t_s)_{x=-a}$$

Si en même temps la couche A est du même matériel que les corps B et C, on a $k = 0$ et

$$(t_s)_{x=a} = (t_s)_{x=-a} = \frac{1}{2} (t_a - t_b) \Theta \left(\frac{h_1 a}{\sqrt{\tau}} \right) + t_b.$$

En appliquant la méthode et les outils mathématiques utilisés dans cet article on peut résoudre plusieurs autres problèmes ayant trait aux couches plates. Les Figures 3, 4 et 5 montrent quelques possibilités intéressantes, les températures initiales étant spécifiées. On laisse le soin de la solution aux lecteurs particulièrement intéressés.

8. APPLICATION AU CAS D'UNE SOURCE PLATE DE CHALEUR AU MILIEU D'UN SOLIDE

On suppose un milieu solide s'étendant vers l'infini dans toutes les directions, dans lequel on a introduit une source de chaleur sous forme d'un plan $x = 0$, s'étendant vers l'infini dans toutes les directions incluses dans ce plan (voir Fig. 6). Le courant de chaleur est supposé constant, donc indépendant du temps et lieu. Pour assurer la constance du courant calorifique on peut supposer que la source est sous forme d'un réchaud électrique fait d'une tôle très mince de matériel semi-conducteur, dans lequel on envoie un courant électrique constant. Ainsi on pourrait négliger les variations de la capacité calorifique du matériel du réchaud avec la température, qui varierait avec le temps.

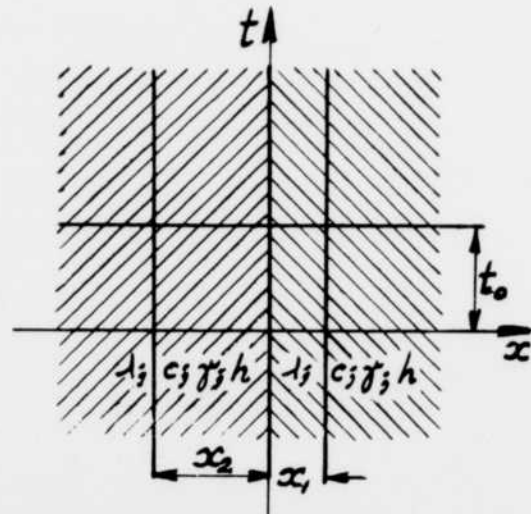


Fig. 6

La température initiale à travers le milieu solide, des deux côtés de la source, est supposée constante, par exemple égale à la température ambiante t_0 . On a donc dans le plan $x = 0$, aussi bien dans la direction positive que dans la direction négative de x :

$$(j)_{x=0} = \left(-\lambda \frac{\delta t}{\delta x} \right)_{x=0} = \frac{Q}{2S},$$

où S est la surface et Q est la quantité totale, constante dans l'unité de temps, de la chaleur dégagée.

Ainsi $\frac{Q}{2S}$ est la quantité de chaleur dégagée dans une direction de x durant l'unité de temps et par unité de surface.

On peut supposer ici

$$t = t_0 + \frac{hx}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f(\vartheta) \exp\left[-\frac{h^2x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}}, \quad (37)$$

où f est une fonction inconnue qu'il faudra déterminer. On en déduit:

$$(t)_{\tau=0} = t_0 + f(0); \quad f(0) = 0.$$

L'expression du courant calorifique devient

$$j = -\lambda \frac{\delta t}{\delta x} = \frac{\lambda h}{\sqrt{\pi}} f(0) + \frac{\lambda h}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \exp\left[-\frac{h^2x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}}.$$

Mais $f(0) = 0$, et pour $x = 0$, on a

$$(j)_{x=0} = \text{Const} = \frac{Q}{2S}.$$

Par conséquent

$$\frac{\lambda h}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\tau-\vartheta}} = \frac{Q}{2S}.$$

En substituant dans cette expression $\tau = \alpha$, en multipliant par $\frac{d\alpha}{\lambda h \sqrt{\pi} \sqrt{\tau-\alpha}}$ et en intégrant par rapport

à α dans les limites $0 \leq \alpha \leq \tau$, on obtient

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}} \int_0^\alpha f'(\vartheta) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\alpha-\vartheta}} = \frac{Q}{2S\lambda h \sqrt{\pi}} \int_0^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{\tau-\alpha}}.$$

En appliquant ensuite la formule de Dirichlet, on trouve la solution:

$$f(\tau) = \frac{Q}{S\lambda h \sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}. \quad (38)$$

Par conséquent, en appliquant la formule (20) de l'Appendice

$$t = t_0 + \frac{Qx}{2S\lambda h \sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left[-\frac{h^2x^2}{4(\tau-\vartheta)}\right] \frac{\sqrt{\vartheta}}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta =$$

$$t_0 + \frac{Q}{2S} \times \frac{2\sqrt{\tau}}{\lambda h} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{h^2x^2}{4\tau}\right) - \frac{hx}{2\sqrt{\tau}} \left[1 - \theta\left(\frac{hx}{2\sqrt{\tau}}\right) \right] \right\}; \quad (39)$$

$$(t)_{x=0} = t_0 + f(\tau) = t_0 + \frac{Q}{S\lambda h \sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}. \quad (40)$$

Ce problème est intéressant parce qu'il se prête aux applications utiles, par ex. à un appareil pour mesurer la conductibilité thermique. On peut, par exemple, procéder comme suit. Puisqu'on trouve les valeurs numériques des fonctions $\theta(\sigma)$ et $\exp(-\sigma^2)$ dans la littérature (voir par ex. Ref. (3)), il suffirait de mesurer automatiquement, à l'aide des thermocouples et d'un pyromètre-enregistreur multiple, en fonction du temps, les températures sur les deux plans différents x_1 , et x_2 pour définir en même temps λ et h en fonction de la température. Ainsi, si le poids spécifique γ est connu au préalable, on définira aussi la chaleur spécifique en fonction de la température, car $c = \frac{\lambda h^2}{\gamma}$. Il serait en principe

plus simple de prendre $x = 0$ comme un des deux plans. Cependant, pour éviter le contact direct du thermocouple, donc du pyromètre, avec le réchaud soumis à une tension électrique, il est préférable d'avoir $x_1 > 0$ et $x_2 > 0$. Dans ce cas, il faudra placer ces deux plans sur les côtés opposés du réchaud, pour éliminer l'influence d'une fente à x_1 , sur l'écoulement de chaleur vers $x_2 > x_1$. Ces fentes (dues aux coupures faites pour placer les thermocouples) contiennent de l'air, les plans des coupures ne pouvant être absolument lisses. En dehors de x_1 et x_2 , il faut prévoir des couches assez épaisses pour pouvoir les identifier avec des épaisseurs infiniment grandes. Dans les deux autres directions on limitera les pièces du matériel par des cadres de dimensions raisonnables mais suffisantes pour les identifier avec des dimensions infinies. La température sera mesurée au milieu, c'est-à-dire sur l'axe x , aux points x_1 et x_2 .

On supposera que dans le voisinage immédiat de l'axe x le courant calorifique unitaire $\frac{Q}{2S}$ n'est faussé par les fuites sur les côtés que d'une façon négligeable, puisque les points x_1 et x_2 sur l'axe x sont loin des surfaces extérieures limitant le matériel.

La méthode de calcul sera la suivante. On définira d'abord le courant de chaleur par unité de surface et de temps $\frac{Q}{S}$ d'après le courant électrique appliqué sur le réchaud, sa résistance électrique et sa surface totale. Ensuite on décidera quelles distances x_1 et x_2 on va appliquer. Leur rapport sera, par exemple, $\frac{x_2}{x_1} = 2$. Enfin on préparera un graphique sur lequel on tracera les deux fonctions suivantes, en fonction de leurs arguments (voir Fig. 7):

$$F(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\sigma^2) - \sigma[1 - \Theta(\sigma)];$$

$$\Phi(\sigma) = \frac{F(\mu\sigma)}{F(\sigma)},$$

où $\mu = \frac{x_2}{x_1}$ (par ex. 2). Ce graphique servira pour toujours, à condition d'appliquer dans les expériences toujours la même valeur de μ . Une des mesures donnera, en fonction de temps:

$$\frac{t_1 - t_0}{(Q/2S)} = \frac{2\sqrt{\tau}}{\lambda h} F(\sigma_1), \quad (41)$$

où $\sigma_1 = \frac{hx_1}{2\sqrt{\tau}}$, et l'autre:

$$\frac{t_2 - t_0}{(Q/2S)} = \frac{2\sqrt{\tau}}{\lambda h} F(\sigma_2), \quad (42)$$

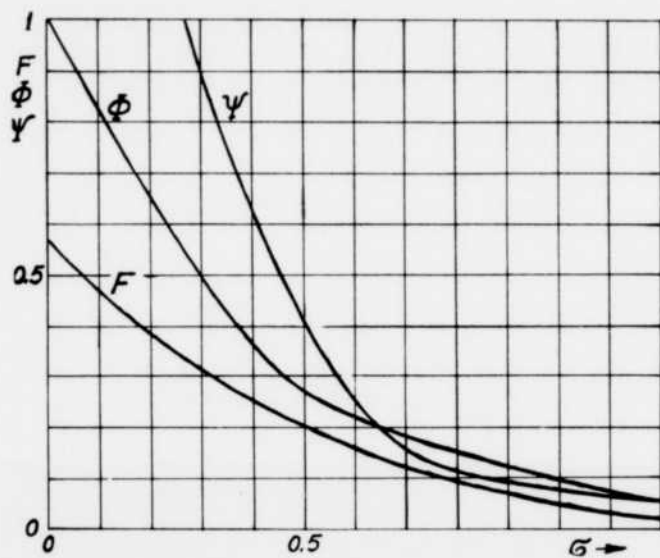


Fig. 7

où $\sigma_2 = \frac{hx_2}{2\sqrt{\tau}}$. Par conséquent

$$\frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{F(\sigma_2)}{F(\sigma_1)} = \Phi(\sigma_1), \quad (43)$$

ce qui permettra d'évaluer, à chaque instant τ , la valeur de σ_1 du graphique. Par conséquent, h sera aussi trouvé pour toutes les températures moyennes entre t_1 et t_2 (ces dernières correspondant aux moments donnés) et pourra être présenté graphiquement en fonction de la température.

En introduisant ensuite les valeurs de σ_1 , trouvées en fonction du temps, ainsi que $h = 2\sqrt{\tau} \frac{\sigma_1}{x_1}$ dans la formule (41) et en se servant du graphique pour définir les valeurs correspondantes de $F(\sigma_1)$, on trouvera

$$\lambda = \frac{(Q/2S) x_1 F(\sigma_1)}{(t_1 - t_0) \sigma_1} \quad (44)$$

pour toutes les températures t_1 correspondant aux moments donnés, et on pourra présenter graphique-

ment λ en fonction de la température. Pour faciliter les opérations on peut tracer sur le graphique la ligne $\Psi(\sigma) = \frac{1}{\sigma} F(\sigma)$, au lieu de la ligne $F(\sigma)$.

Si le poids spécifique γ du matériel essayé est déterminé au préalable, sa chaleur spécifique (aussi en fonction de la température) en résulte:

$$c = \frac{\lambda h^2}{\gamma}. \quad (45)$$

9. CONCLUSION

Le but principal de cet article était de développer la solution générale de l'équation de la chaleur pour une couche plate (à épaisseur constante) et de démontrer la méthode d'application de cette solution générale sur quelques exemples concrets, en vue d'applications pratiques aux appareils à mesurer la conductibilité thermique des solides. Les solutions de quelques intégrales définies utilisées dans l'article sont citées dans l'Appendice.

APPENDICE

Les intégrales définies appliquées dans cet article.

L'intégrale définie

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\alpha^2} d\alpha \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \exp(-\alpha^2) d\alpha =$$

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp(-\alpha^2) d\alpha = 1, \quad (1)$$

est en relation avec la fonction de Gauss, qui suit.

Fonction de Gauss (appelée aussi l'intégrale d'erreurs):

$$\Theta(\beta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\beta} \exp(-\alpha^2) d\alpha; \quad \Theta(0) = 0; \quad \Theta(\infty) = 1. \quad (2)$$

(Pour les valeurs numériques de cette fonction et de ses dérivées voir Ref. (3)). Par conséquent, en substituant $\frac{n}{\sqrt{\vartheta}} = \alpha$, ou $\frac{n}{\sqrt{\tau - \vartheta}} = \alpha$ on trouve:

$$\frac{n}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \exp\left(-\frac{n^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}} =$$

$$\frac{n}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \exp\left(-\frac{n^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2}} = 1 - \Theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right). \quad (3)$$

Formule de Dirichlet (Ref. (2) T.I, p. 299 ou T. III, p. 327):

$$\int_d^a db \int_d^b F(a,b,c) dc = \int_d^a dc \int_c^a F(a,b,c) db. \quad (4)$$

L'intégrale suivante se résout par la substitution $\alpha = \tau \sin^2 \beta$; $d\alpha = 2\tau \sin \beta \cos \beta d\beta$:

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha(\tau-\alpha)}} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} d\beta = 1. \quad (5)$$

L'intégrale suivante, un peu plus compliquée, se réduit à la précédente par la substitution

$$\alpha = \vartheta + \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} \gamma; \quad d\alpha = \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} d\gamma:$$

$$\frac{1}{\pi} \int_\vartheta^\tau \frac{d\alpha}{\sqrt{(\alpha - \vartheta)(\tau - \alpha)}} = \frac{1}{\pi} \int_0^\tau \frac{d\gamma}{\sqrt{\gamma(\tau - \gamma)}} = 1. \quad (6)$$

L'intégrale

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} \sqrt{\tau - \vartheta}} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right) \int_0^\tau \exp\left[-\frac{m^2(\tau - \vartheta)}{\tau\vartheta}\right] \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} \sqrt{\tau - \vartheta}}$$

se résout par la substitution

$$\frac{m\sqrt{\tau - \vartheta}}{\sqrt{\tau\vartheta}} = \alpha; \quad \vartheta = \frac{m^2\tau}{\tau\alpha^2 + m^2}; \quad d\vartheta = -\frac{2m^2\tau^2\alpha}{(\tau\alpha^2 + m^2)^2} d\alpha.$$

On obtient

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} \sqrt{\tau - \vartheta}} =$$

$$\frac{2}{m\sqrt{\pi\tau}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right) \int_0^\infty \exp(-\alpha^2) d\alpha = \frac{1}{m\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right). \quad (7)$$

De façon similaire on obtient

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau - \vartheta)^{3/2} \sqrt{\vartheta}} = \frac{1}{m\sqrt{\tau}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right). \quad (8)$$

Dans les deux cas il faut que $m = 0$.

L'intégrale

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\vartheta^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha - \vartheta}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha - \vartheta)^{3/2} \sqrt{\tau - \alpha}},$$

qui est un peu plus compliquée que (7), se réduit à cette dernière par les substitutions suivantes:

$$\alpha = \vartheta + \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} \beta; \quad d\alpha = \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} d\beta; \quad m = n \frac{\sqrt{\tau - \vartheta}}{\sqrt{\tau}}.$$

On obtient

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\vartheta^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha - \vartheta}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha - \vartheta)^{3/2} \sqrt{\tau - \alpha}} =$$

$$\frac{\tau}{(\tau - \vartheta)\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{n^2}{\beta}\right) \frac{d\beta}{\beta^{3/2} \sqrt{\tau - \beta}} =$$

$$\frac{\sqrt{\tau}}{n(\tau - \vartheta)} \exp\left(-\frac{n^2}{\tau}\right) = \frac{1}{m\sqrt{\tau - \vartheta}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau - \vartheta}\right), \quad (9)$$

où il faut encore $m = 0$.

Pour résoudre l'intégrale suivante, qui peut être définie comme une fonction de τ et m :

$$f(\tau, m) = \frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta(\tau - \vartheta)}} =$$

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta(\tau - \vartheta)}}$$

et qui devient nulle pour $m = \infty$, on prend d'abord la dérivée par rapport à m ; en considérant (7) ceci devient:

$$\frac{\delta f}{\delta m} = -\frac{2m}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} \sqrt{\tau - \vartheta}} =$$

$$-\frac{2}{\sqrt{\pi\tau}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right).$$

Ensuite on fait l'intégration par rapport à m , en

substituant $\frac{\mu}{\sqrt{\tau}} = \beta$; $d\mu = \sqrt{\tau} d\beta$:

$$f(\tau, m) = -\frac{2}{\sqrt{\pi\tau}} \int_0^m \exp\left(-\frac{\mu^2}{\tau}\right) d\mu + f(\tau, 0) =$$

$$-\theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau}}\right) + f(\tau, 0).$$

En posant dans cette dernière équation $m = \infty$, on trouve que $f(\tau, 0) = 1$. Par conséquent

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta(\tau - \vartheta)}} =$$

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta(\tau - \vartheta)}} = 1 - \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau}}\right). \quad (10)$$

La forme (6), obtenue plus haut, s'obtient directement de (10), en posant $m = 0$.

Les substitutions $\alpha = \vartheta + \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} \beta$;

$d\alpha = \frac{(\tau - \vartheta)}{\tau} d\beta$; $m = n \frac{\sqrt{\tau - \vartheta}}{\sqrt{\tau}}$, dans l'intégrale qui

suit, l'amènent à la forme précédente:

$$\frac{1}{\pi} \int_\vartheta^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha - \vartheta}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha - \vartheta)^{3/2} \sqrt{\tau - \alpha}} =$$

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\beta}\right) \frac{d\beta}{\sqrt{\beta(\tau - \beta)}} = 1 - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right) =$$

$$1 - \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau - \vartheta}}\right). \quad (11)$$

Pour résoudre l'intégrale qui suit, on la décompose d'abord en deux autres, comme suit:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau - \vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2} (\tau - \vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{(m+n)}{2mn\sqrt{\pi}\tau} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right] \int_0^\tau \exp\left\{-\frac{[m\tau-(m+n)\vartheta]^2}{\tau\vartheta(\tau-\vartheta)}\right\} \\ \times \frac{[m\tau-(m-n)\vartheta]}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta - \frac{(m-n)}{2mn\sqrt{\pi}\tau} \exp\left[-\frac{(m-n)^2}{\tau}\right] \times \\ \int_0^\tau \exp\left\{-\frac{[m\tau-(m-n)\vartheta]^2}{\tau\vartheta(\tau-\vartheta)}\right\} \frac{[m\tau-(m+n)\vartheta]}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta.$$

Ensuite on substitue dans la première intégrale du côté droit de l'équation une nouvelle variable d'intégration

$$\alpha = \frac{m\tau-(m+n)\vartheta}{\sqrt{\tau\vartheta(\tau-\vartheta)}}; \quad d\alpha = -\frac{[m\tau-(m-n)\vartheta]\sqrt{\tau}d\vartheta}{2\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}},$$

et dans la deuxième

$$\beta = \frac{m\tau-(m-n)\vartheta}{\sqrt{\tau\vartheta(\tau-\vartheta)}}; \quad d\beta = -\frac{[m\tau-(m+n)\vartheta]\sqrt{\tau}d\vartheta}{2\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}},$$

en obtenant:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} = \frac{(m+n)}{mn\tau^{3/2}\sqrt{\pi}} \times \\ \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right] \int_{-\infty}^0 \exp(-\alpha^2) d\alpha + \frac{(m-n)}{mn\tau^{3/2}\sqrt{\pi}} \times \\ \int_0^\infty \exp(-\beta^2) d\beta = \frac{(m+n)}{mn\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right], \quad (12)$$

où il faut que $m > 1$ et $n > 1$.

L'intégrale suivante se réduit, par les substitutions

$$\alpha = \vartheta + \frac{(\tau-\vartheta)}{\tau} \beta; \quad d\alpha = \frac{(\tau-\vartheta)}{\tau} d\beta; \quad m = m_1 \frac{\sqrt{\tau-\vartheta}}{\sqrt{\tau}}; \\ n = n_1 \sqrt{\frac{\tau-\vartheta}{\tau}},$$

à l'intégrale (12):

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha-\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\alpha}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha-\vartheta)^{3/2}(\tau-\alpha)^{3/2}} = \\ \frac{m^2 n^2}{m^2 n^2 \sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m_1^2}{\beta} - \frac{n_1^2}{\tau-\beta}\right) \frac{d\beta}{\beta^{3/2}(\tau-\beta)^{3/2}} = \\ \frac{(m+n)}{mn(\tau-\vartheta)^{3/2}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{(\tau-\vartheta)}\right]. \quad (13)$$

L'intégrale (12) peut être décomposée somme suit:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} = \\ \frac{1}{m\tau\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{[m\tau-(m-n)\vartheta]}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta +$$

$$\frac{(m-n)}{mn\tau\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta}(\tau-\vartheta)^{3/2}}.$$

De ces trois intégrales, la première est définie par (12), la deuxième se résout en substituant

$$\frac{m\tau-(m+n)\vartheta}{\sqrt{\tau\vartheta(\tau-\vartheta)}} = \beta;$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{[m\tau-(m-n)\vartheta]}{\vartheta^{3/2}(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta =$$

$$\frac{2}{m\tau^{3/2}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right],$$

donc la troisième devient:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta}(\tau-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{n\sqrt{\tau}} \exp\left[-\frac{(m+n^2)}{\tau}\right], \quad (14)$$

où il faut que $m \geq 0$ et $n > 0$. En échangeant ϑ et $(\tau-\vartheta)$ ainsi que m et n , on trouve aussi

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}\sqrt{\tau-\vartheta}} = \\ \frac{1}{m\sqrt{\tau}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right], \quad (15)$$

où il faut que $m > 0$ et $n \geq 0$. Par la méthode déjà appliquée plus haut dans les cas similaires, on trouve ensuite:

$$\frac{n}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha-\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\alpha}\right) \frac{d\alpha}{\sqrt{\alpha-\vartheta}(\tau-\alpha)^{3/2}} =$$

$$\frac{m}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\alpha-\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\alpha}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha-\vartheta)^{3/2}\sqrt{\tau-\alpha}} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\tau-\vartheta}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau-\vartheta}\right] \quad (16 \text{ et } 17)$$

L'intégrale suivante à résoudre est

$$f(\tau, m, n) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \Theta\left(\frac{m}{\sqrt{\vartheta}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \Theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau-\vartheta}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}}.$$

Dans ce but on prend d'abord la dérivée par rapport à m :

$$\frac{\partial f}{\partial m} = \frac{2}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\vartheta} - \frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta}(\tau-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{2}{n\sqrt{\pi\tau}} \exp\left[-\frac{(m+n)^2}{\tau}\right].$$

En intégrant ensuite par rapport à m , on obtient

$$f(\tau, m, n) - f(\tau, 0, n) = \frac{2}{n\sqrt{\pi\tau}} \int_0^m \exp\left[-\frac{(\mu+n)^2}{\tau}\right] d\mu =$$

$$\frac{1}{n} \left[\theta\left(\frac{m+n}{\sqrt{\tau}}\right) - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right) \right].$$

En posant dans cette formule $m = \infty$ on obtient

$$f(\tau, \infty, n) - f(\tau, 0, n) = \frac{1}{n} \left[1 - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right) \right].$$

Mais

$$f(\tau, \infty, n) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{n} \left[1 - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right) \right];$$

par conséquent $f(\tau, 0, n) = 0$ et

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\vartheta}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau-\vartheta}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\vartheta^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{n} \left[\theta\left(\frac{m+n}{\sqrt{\tau}}\right) - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau}}\right) \right], \quad (18)$$

où il faut que $m \geq 0$ et $n > 0$.

Le lecteur vérifiera facilement la validité de la solution suivante:

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\alpha-\vartheta}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\tau-\alpha}\right) \frac{d\alpha}{(\tau-\alpha)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau-\alpha}}\right) \exp\left(-\frac{n^2}{\alpha-\vartheta}\right) \frac{d\alpha}{(\alpha-\vartheta)^{3/2}} =$$

$$\frac{1}{n} \left[\theta\left(\frac{m+n}{\sqrt{\tau-\vartheta}}\right) - \theta\left(\frac{n}{\sqrt{\tau-\vartheta}}\right) \right]. \quad (19)$$

Enfin, l'intégrale suivante peut être décomposée en deux autres, déjà connues:

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{\sqrt{\vartheta}}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta =$$

$$\frac{\tau}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta}(\tau-\vartheta)^{3/2}} -$$

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{d\vartheta}{\sqrt{\vartheta}(\tau-\vartheta)}.$$

En appliquant les formules (8) et (10), on obtient

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{m^2}{\tau-\vartheta}\right) \frac{\sqrt{\vartheta}}{(\tau-\vartheta)^{3/2}} d\vartheta =$$

$$\frac{\sqrt{\tau}}{m\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{m^2}{\tau}\right) - 1 + \theta\left(\frac{m}{\sqrt{\tau}}\right). \quad (20)$$

REFERENCES:

- (1) B. Szczeniowski: Nouvelle méthode pour déterminer la conductibilité thermique des matériaux isolants. Académie des Sciences de Pologne, 1929 (Thèse de doctorat; en polonais).
- (2) E. Goursat: Cours d'analyse mathématique, 5e édition, Gauthier-Villars; Paris.
- (3) Jahnke & Emde: Tables of functions. Teubner; Leipzig & Berlin.



EXPORTATIONS DE TRAVAUX TECHNIQUES

par

R.-A. Frigon

**Chef, Division du génie et de l'outillage
Ministère du Commerce, Ottawa**

Les succès récents de certaines maisons canadiennes illustrent de façon pratique les moyens et les raisons d'exporter des services et des ouvrages techniques. Ils prouvent que les travaux réalisés par les ingénieurs canadiens peuvent soutenir la concurrence sur les marchés du monde et indiquent la voie à suivre pour obtenir d'autres contrats à l'étranger.

Au nombre des principales exportations, mentionnons :

Avions turbopropulsés— États-Unis	\$100 millions
Turbines hydro-électriques —États-Unis	16 millions
Services d'ingénieurs-conseils, papeteries de 20 millions de dollars— Suède	
Appareils pour la séparation des gaz—Yougoslavie	1.6 million
Réseau de télécommunications—Suède	1.5 million
Levé aérien—Turquie	1 million
Machine à extrusion— Espagne	500,000
Appareillage de commutation électrique—Iran	500,000
Appareils de mesure à isotopes—Italie, Brésil, Japon	250,000

À quoi tiennent les résultats obtenus? Quels obstacles se sont présentés et comment les a-t-on surmontés? De quels avantages spéciaux les exportateurs canadiens ont-ils bénéficié? Les ré-

ponses à ces questions aideront peut-être les sociétés canadiennes qui songent à faire leurs premiers pas ou à s'engager plus à fond dans ce domaine de l'exportation. Une étude détaillée de certaines commandes permettra de déterminer avec assez d'exactitude à quoi on peut attribuer le succès.

Avions

Une société canadienne a récemment inscrit son nom dans les annales de l'aviation lorsqu'elle s'est vu adjuger, en dépit d'une concurrence acharnée, des commandes d'avions-cargos pour un montant global de près de 100 millions de dollars. Fabricante d'un appareil qu'elle jugeait appelé à une forte demande dans le domaine du transport des marchandises, elle est parvenue par des efforts méthodiques à obtenir des commandes de plusieurs lignes aériennes des États-Unis.

Voilà les faits tels qu'ils apparaissent à première vue. Examinons un peu plus profondément les détails afin de tirer des leçons utiles. Le fabricant n'a pas seulement prévu la demande mais il l'a fait avant ses concurrents pendant que ceux-ci portaient toute leur attention au marché plus connu des avions de transport de passagers. L'appareil en cause pouvait être modifié et

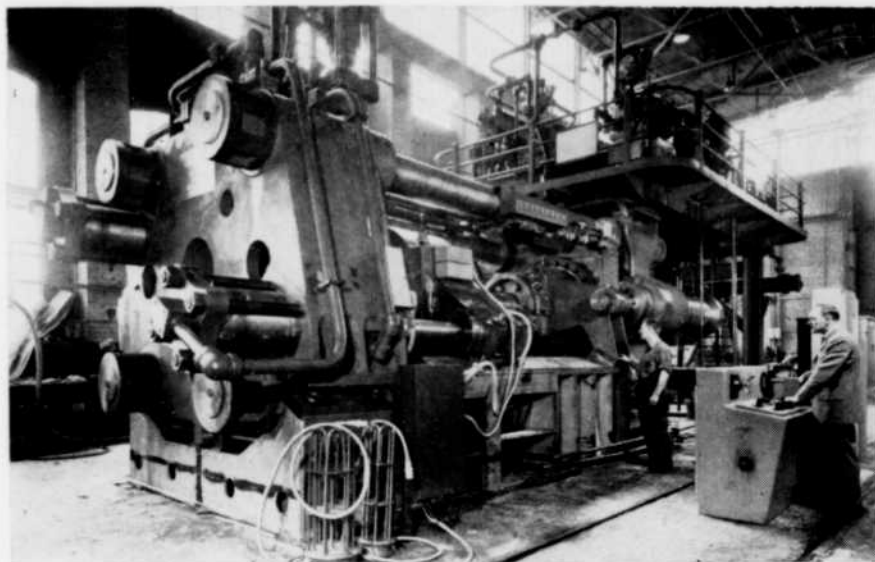
adapté à d'autres fins, à condition qu'on s'en donnât la peine. Une étude du marché ayant révélé que de grandes possibilités de vente s'offraient pour un avion-cargo qui permettrait de réduire le tarif-marchandises, la société a entrepris des travaux de perfectionnement au coût de plusieurs millions de dollars.

Au cours de ses premières démarches auprès des lignes aériennes, la société a constaté qu'elle aurait à faire des concessions spéciales afin d'offrir un genre de contrat qui conviendrait à l'acheteur. Pour cela, il lui fallait renoncer à plusieurs idées préconçues. Elle constata aussi qu'elle devait se charger du financement et, heureusement, elle avait à sa disposition des services officiels d'assurance des crédits à l'exportation.

Par conséquent, ce succès de premier ordre est attribuable à la fois à l'initiative de la société et aux services du gouvernement.

Matériel de télécommunication

Il y a quelques mois, une société canadienne a obtenu un contrat pour la fourniture à la Suède de matériel de téléphone par courants porteurs, d'une valeur de 1.5 million de dollars. Le fait est d'autant plus notable que la Suède jouit d'une belle répu-



Une aluminerie d'Alicante (Espagne), propriété de l'Aluminio Iberico, S.A., a acheté de la Canadian Vickers Limited, de Montréal, cette presse à filer d'aluminium de 3,500 tonnes, actionnée par une commande directe à l'huile. La photographie a été prise au moment de la vérification dans la salle de montage avant l'expédition. La même société a acheté de la Vickers un tendeur hydraulique de 72 tonnes pour l'extrusion de l'aluminium ainsi que de l'outillage connexe. La commande espagnole a représenté au total la somme de \$400,000.

tation dans le domaine du téléphone. Le matériel canadien a été préféré à des modèles du même genre offerts par d'autres pays.

Les succès à l'étranger de la société en cause ont fait l'objet de l'article "Ventes à l'armée américaine" paru dans le numéro de décembre 1958 de *Commerce extérieur*, publié par le ministère du Commerce. Cette société estime que l'amélioration constante des modèles est tout aussi importante que le prix. Elle maintient des relations directes avec des représentants de tous les échelons des organismes avec lesquels elle fait affaires. Elle observe rigoureusement les exigences des devis et les délais de livraison. Tous ces facteurs ont été d'un précieux concours dans l'obtention de son contrat en Suède.

Une autre maison canadienne a obtenu une commande visant la fabrication d'une machine à extruder d'un demi-million de dollars. Elle avait pour concurrents des fournisseurs du monde entier, notamment de l'Europe, et son prix était relativement élevé. Comment est-elle parvenue à réussir? Le fabricant soutient que sa machine n'a guère de pareille du point de vue des devis de

fabrication. Mais cela n'est pas suffisant. Il faut en convaincre l'acheteur. Dans le cas qui nous occupe, le vendeur n'a pas craint d'aller voir personnellement l'acheteur, même au prix d'un voyage en Espagne. Ce contact personnel et la qualité du produit semblent avoir été les facteurs déterminants de cette vente.

Construction de papeteries

Des maisons d'ingénieurs-conseils ont récemment ajouté aux succès des ingénieurs canadiens dans le domaine de l'exportation, en obtenant des contrats pour l'établissement des plans et la surveillance des travaux de construction de fabriques de papier en Suède. A l'heure actuelle, au moins quatre maisons d'ingénieurs-conseils exportent à l'étranger leurs connaissances techniques dans la fabrication de la pâte et du papier. Dans un numéro de *Commerce extérieur*, un ingénieur canadien d'expérience a indiqué les avantages dont jouissent nos ingénieurs dans la concurrence internationale. Tout d'abord, a-t-il dit, le Canada et les Canadiens sont bien vus à l'étranger et, ensuite, notre industrie de la pâte et du papier est très avancée du point de vue tech-

nologique. Les usines canadiennes emploient moins de main-d'oeuvre et font plus de place à l'outillage de manutention pour certaines opérations. On se préoccupe davantage de l'aménagement rationnel de l'usine et de la succession ordonnée des opérations. Toutefois, nos ingénieurs-conseils ne se fient pas uniquement à ces avantages intrinsèques; ils s'occupent aussi d'établir des relations personnelles dans tous les pays où leurs services sont requis.

Dernièrement, le gouvernement de la Turquie a confié à une maison canadienne un des plus importants contrats de levés géophysiques jamais adjugés; il s'agit d'un montant de l'ordre d'un million de dollars. Cette maison avait présenté la plus basse soumission dans un concours international. Ce n'est là qu'un contrat entre bien d'autres dans ce domaine adjugés à des Canadiens. La même société a été chargée de faire, au Liberia, une étude en vue de l'établissement d'une ligne de chemin de fer; pour ce travail, elle se servira des techniques de calcul automatique mises au point au cours d'un levé du chemin de fer de la mine Cartier.

Les sociétés canadiennes de levés aériens possèdent une vaste expérience dans la photographie aérienne aux fins de cartographie et dans les levés géophysiques aux fins d'inventaires des ressources naturelles. La demande de ces services outre-mer, en particulier dans les pays où le climat permet les travaux en hiver, offre un débouché naturel au Canada. Favorisées par l'expérience acquise et pressées par le besoin de répartir leurs frais élevés de personnel et d'outillage, les sociétés canadiennes font déjà un chiffre d'affaires considérable dans ce domaine à l'étranger.

On dit parfois que les prix canadiens de matériel électrique sont élevés. C'est peut-être vrai mais cela n'a pas empêché une maison canadienne d'obtenir récemment un contrat d'un demi-million de dollars pour la fourniture d'un appareillage de communication au barrage de Dez en Iran. Le fabricant a démontré aux ingénieurs-conseils que son produit justifiait l'écart de prix.

Une société canadienne a acquis une vaste expérience dans l'établissement des plans et la fabrication d'appareils destinés à la séparation des gaz à basse température en vue de la production

de l'hydrogène et d'autres gaz. Il y a quelque temps, elle a obtenu un contrat pour la fourniture d'un appareil de ce genre, de 1.6 million de dollars, à une usine d'engrais chimiques en Yougoslavie. Elle a aussi expédié un gigantesque appareil, d'une hauteur égale à celle d'un bâtiment de huit étages et d'un poids de plus de 80 tonnes, à une usine de produits chimiques de la Californie. Elle en a déjà exporté plusieurs autres. Ses prix, ses modèles et sa longue expérience en font un redoutable concurrent.

Problèmes

Ces exemples illustrent la variété des éléments (prix, modèle, délais de livraison, contacts personnels, conditions de paiement) qui entrent en ligne de compte lorsqu'il s'agit d'obtenir des contrats d'ordre technique à l'étranger. Les difficultés qui se présentent peuvent sembler parfois trop grandes pour les petites entreprises ou pour les commençants. D'où plusieurs questions. Comment une maison canadienne peut-elle accorder de longs délais de paiement? Est-il possible d'établir à peu de frais des relations en pays étrangers? Comment les petites

sociétés peuvent-elles obtenir des contrats à l'étranger?

La solution à ces trois problèmes réside peut-être dans les foires commerciales, l'assurance des crédits à l'exportation et le consortium, respectivement.

Un moyen d'établir des relations est de participer aux stands montés en collaboration avec le ministère du Commerce aux foires à l'étranger. Très souvent des sociétés qui en étaient à leur première expérience dans ce domaine ont été émerveillées des résultats obtenus. Elles ont été mises en contact avec des acheteurs possibles et sont pour ainsi dire entrées dans le courant particulier d'activité qui les intéressait. Nous avons déjà décrit ailleurs les succès obtenus à l'occasion d'expositions de produits techniques canadiens à quatre foires des Etats-Unis: le Western Tool Show à Los Angeles, l'Atom Fair à Cleveland, le Design Engineering Show à Philadelphie et le Metal Show à Chicago.

Bon nombre d'acheteurs étrangers de matériel de production et de sociétés chargées de projets techniques, surtout dans les pays sous-développés, exigent des fournisseurs de longs délais de paie-



Une société suisse a récemment acheté cette machine à calculer électronique, RAMAC 305, fabriquée par l'International Business Machines Company Limited à son usine de Don Mills, Ont. La RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control) que l'on est en train de monter et de vérifier pèse 10,000 livres et est la première du genre exportée du Canada. Elle peut être employée à n'importe quel stade de la comptabilité et de la tenue d'archives. Elle a été expédiée par avion à l'acheteur, l'Aufina de Zurich.

ment. Les maisons canadiennes qui ont à faire face à cette situation seraient bien avisées de s'adresser à la Société d'assurance couvrant leurs risques de non-recouvrement. Beaucoup de sociétés canadiennes munies de semblables polices d'assurance ont pu obtenir sans difficulté des prêts des banques à charte canadiennes. Une nouvelle loi adoptée en 1959 permet à la Société d'accorder une garantie directe à toute institution qui consent du crédit de ce genre. Une analyse détaillée de cette nouvelle loi a paru dans le numéro d'août 1959 de *Commerce extérieur*.

Le consortium

La collaboration peut aider les sociétés canadiennes à accroître leur chiffre d'affaires à l'étranger. Déjà, l'entreprise en participation est bien connue dans l'industrie canadienne de la construction comme moyen d'exécuter de grands travaux de génie civil, dépassant les possibilités individuelles de chacun des participants. Lorsque, aux constructeurs, s'ajoutent des fabricants et des ingénieurs-conseils, les entreprises les plus complexes, exigeant le concours du génie civil, électrique et mécanique ainsi que la connais-

sance de techniques particulières, deviennent accessibles.

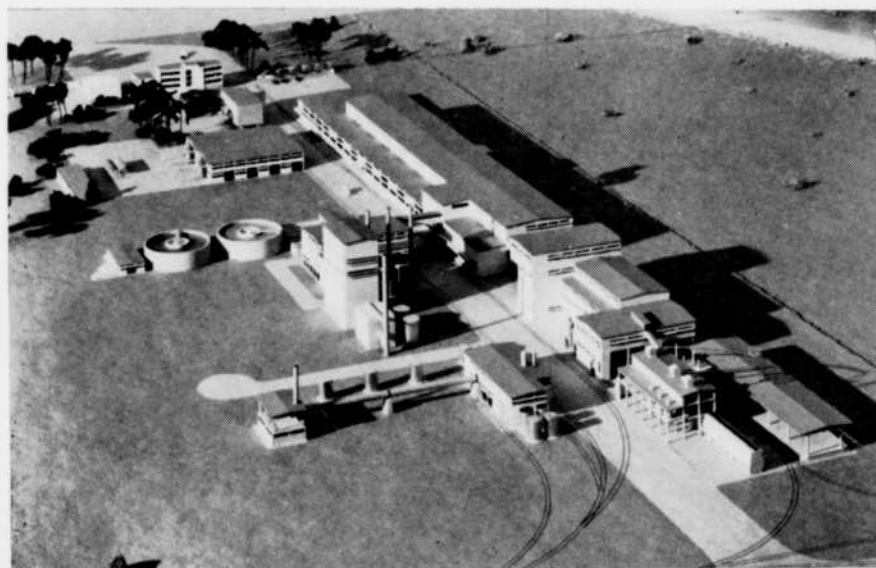
L'industrie canadienne de la construction est en bonne posture pour entreprendre sur un pied de collaboration des travaux à l'étranger. Elle possède, en effet, un solide noyau d'entrepreneurs généraux compétents, expérimentés dans des domaines particuliers, comme le terrassement, les travaux de fondation, etc. D'autres sont spécialisés dans le montage des installations électriques et mécaniques, l'établissement de lignes de transmission ou de pipelines, le forage de puits de pétrole, le forage au diamant, la construction d'usines de produits chimiques, et ainsi de suite. Ces entrepreneurs, dirigés par des ingénieurs-conseils, forment une équipe capable d'entreprendre les tâches les plus difficiles.

Un certain nombre d'entrepreneurs canadiens exécutent déjà de main de maître des travaux de construction et de mise en place à l'étranger. Plusieurs ont constitué des sociétés internationales qu'ils ont chargées de leur activité extérieure. Beaucoup ont eu recours à certaines formes d'entreprises en commun. Par exemple, pour satisfaire aux exigences relatives à des ouvrages d'électrici-

té en Amérique centrale, une société s'est faite actionnaire d'une société étrangère. Deux entrepreneurs canadiens, un entrepreneur général et un spécialiste des travaux d'électricité et de mécanique, exécutent en ce moment un contrat au Pakistan. Un constructeur de lignes de transmission vient de soumissionner en Malaisie avec le concours d'une société malaise; la même entreprise s'est auparavant associée à une société suédoise pour présenter une offre au Liban. Plusieurs entrepreneurs du domaine électromécanique cherchent des associés dans les pays du Sud-Est de l'Asie.

Malgré ces succès remportés par des sociétés canadiennes à l'étranger, il ne faudrait pas conclure que le domaine est suffisamment exploité. Les plus aventureux ont à peine effleuré la masse de possibilités offertes à ceux qui savent en profiter.

Mais commençons par le commencement. L'entreprise en participation suppose la présence d'un "agent catalyseur". L'entrepreneur est naturellement désigné pour cette tâche, puisqu'il a l'habitude de diriger des hommes, de réunir des matériaux et de coordonner des tâches complexes. Il



Maquette d'une usine de pâte et de papiers fins d'une capacité de 80 tonnes métriques par jour en construction au Caire (Egypte). Une société canadienne d'ingénieurs-conseils, la *Stadler Hurter International Limited*, a tracé les plans et surveillé la construction de cet établissement qui emploiera comme matière première de la paille de riz et du chaume. L'entreprise relève de l'Organisation égyptienne chargée de l'exécution du Plan industriel quinquennal, organisme du genre de nos sociétés canadiennes de la Couronne.

Canadair Limited a déjà trouvé aux États-Unis des clients pour son quadrimoteur long courrier à turbopropulsion CL-44 dont le premier exemplaire ne pourra pas être mis en service avant avril 1961. Le CL-44 est fabriqué en deux versions, militaire et commerciale (illustrée ci-contre), et une de ses particularités, très importante pour un avion-cargo, est son empennage à charnière qui permet de déplacer la section arrière pour le chargement rapide de marchandises pondéreuses et encombrantes.



sait négocier les contrats difficiles. Que reste-t-il à faire à celui qui réunit toutes ces qualités pour obtenir plus de contrats à l'étranger? Il y a trois moyens à sa disposition : se joindre à d'autres maisons canadiennes, s'associer à des maisons du pays où il veut faire affaires ou collaborer avec des sociétés étrangères possédant une expérience internationale.

L'entreprise en participation

La participation à une entreprise avec d'autres maisons permet la mise en commun de la main-d'oeuvre, des connaissances techniques, du matériel et des ressources financières. C'est une manière de partager les risques. Sous sa forme la plus permanente, l'entreprise en participation, qu'il serait peut-être plus juste alors d'appeler consortium, favorise la prospection en commun des marchés extérieurs. Le personnel étant mis en commun, les négociations financières et même les ententes de troc deviennent plus faciles.

Si les entrepreneurs parviennent à intéresser des fabricants et des ingénieurs-conseils, le groupe peut offrir l'entreprise complète, depuis l'étude préliminaire des possibilités de réalisation, les

plans et la construction, jusqu'à la livraison de l'ouvrage prêt à fonctionner, et même la direction durant la période initiale. Pour des raisons d'ordre professionnel, les ingénieurs-conseils hésitent parfois à s'associer à de tels groupes, à moins d'être suffisamment protégés. Dans certains cas, la solution peut consister à faire de l'ingénieur le conseiller de l'autorité qui lance l'entreprise et le vérificateur des plans. Une autre formule a cours au Royaume-Uni, où l'ingénieur-conseil est connu de longue date : là, en vertu d'une entente entre le groupe des exportateurs des industries de la construction et l'Association des ingénieurs-conseils, organisme reconnu pour ses hautes normes professionnelles, l'ingénieur est au service de l'entreprise ou d'un groupe d'entrepreneurs comme dessinateur et conseiller.

A cause de la grande variété de matériel fabriqué au Canada, il est possible de faire entrer une bonne part de matériel canadien dans les usines complètes livrées à l'étranger, surtout lorsque les prix globaux et les normes générales peuvent soutenir la concurrence. Sous ce rapport, le consortium ouvre des possibilités exceptionnelles aux fabricants canadiens qui, par eux-mêmes, ne

pourraient peut-être pas obtenir de commandes à l'étranger. Ainsi, récemment, une quantité appréciable de matériel canadien est entrée dans une usine étrangère de pâte et de papier du fait que des ingénieurs canadiens avaient mis la main à la préparation des plans et aux travaux de construction.

Parfois il ne suffit pas, pour obtenir un contrat à l'étranger, de se joindre à des maisons canadiennes. Il peut être bon, et même nécessaire, de s'allier à un entrepreneur local compétent non seulement au courant des conditions de l'emploi, des frais, des impôts et des lois, mais possédant l'influence et les relations nécessaires. L'association avec une maison locale peut être un moyen de relever son prestige et de se faire accepter par la population de l'endroit. Souvent, c'est même une condition nécessaire pour présenter une offre. Les délégués commerciaux du Canada, particulièrement ceux qui sont postés dans des pays sous-développés d'Asie, d'Afrique, de l'Amérique latine et du Moyen-Orient, sont en contact avec des maisons désireuses d'entrer en relations avec des sociétés canadiennes d'expérience prêtes à soumissionner à l'égard d'entreprises locales. Il suffit de s'adres-



Le premier acheteur étranger du nouveau DHC-"Caribou", produit de la Havilland Aircraft of Canada Limited, a été l'armée des États-Unis. On voit ici un équipage américain prenant possession de quatre de ces appareils à l'usine de la société à Downview. Le "Caribou" est un avion à toutes fins qui peut transporter 29 hommes équipés pour le combat ou 3 1/2 tonnes de marchandises sur une distance de 1,400 milles et décoller ou atterrir sur des pistes improvisées de 600 pieds. Des représentants de la société visitent en ce moment divers pays afin de faire connaître et de vendre ce nouvel appareil qui peut également servir au transport commercial.

ser à ces délégués commerciaux pour obtenir les noms de constructeurs intéressés et recommandables.

La collaboration avec une maison étrangère d'expérience internationale offre au futur exportateur la possibilité d'acquérir une précieuse expérience qu'il lui serait peut-être difficile d'obtenir autrement. Même si l'alliance doit se faire entre deux concurrents, l'intérêt des deux parties devrait permettre au moins un mariage de raison. Il est des cas où l'expérience particulière d'une maison canadienne complète heureusement celle de l'associé étranger. La maison canadienne profite alors aussi bien des moyens financiers et des capacités de négociation que de l'habitude des conditions étrangères de son associée. Une fois initiée un tant soit peu au milieu extérieur, elle se sentira peut-être de force à voler de ses propres ailes.

Quelques exemples

On trouve dans les pays exportateurs de nombreux exemples de

collaboration à des fins d'exportation. Reprenons le cas souvent cité de l'ISCON. (*Indian Steel Works Construction Company Limited*), consortium de 13 sociétés britanniques des domaines de la fabrication, de l'électricité, de la construction et du génie civil établi en 1955 à la fin particulière de livrer à l'Inde une aciérie complète d'une production annuelle d'un million et quart de tonnes d'acier en lingots.

Un autre exemple de collaboration en vue de l'exportation est celui des groupements de sociétés qui recherchent des travaux à l'étranger pour leurs membres, mais n'acceptent pas pour eux-mêmes des contrats. Le groupe France-Technique, qui réunit 11 sociétés françaises, a été créé précisément aux fins que nous venons d'indiquer. Il s'occupe de former, en puisant parmi ses membres ou ailleurs, des consortiums de maisons françaises qu'il groupe entre elles ou qu'il associe à des maisons étrangères.

Nous pourrions citer maints autres exemples qui compren-

draient, notamment, des groupes qui se sont formés en vue de l'exportation de matériel. Chacun de ces cas, qu'il s'agisse d'entreprises en participation ou de consortiums, est inspiré du principe "l'union fait la force". Appliqué à l'obtention et à l'exécution d'importants et complexes travaux techniques, ce principe prend une signification nouvelle et devient très utile.

Les maisons canadiennes ont des produits et des services qui sont en demande à l'étranger. A elle de recourir davantage aux moyens à leur disposition : méthodes d'exportation plus énergiques, groupement d'entreprises à l'étranger, financement à long terme grâce aux services existants, programmes de stimulation du commerce, dont la participation aux foires. En élargissant leur sphère d'exportation, elles ne font pas qu'accroître leur chiffre d'affaires, elles apportent aux populations moins évoluées économiquement les avantages de services et d'outillage techniques particulièrement appropriés aux pays en voie d'expansion.



L'EXPLOITATION DE QUEBEC CARTIER MINING

par

Jean-Paul Drolet

**Ingénieur des Mines, Adjoint au président
Quebec Cartier Mining Company**

La mise en valeur des gisements à basse teneur en fer, récemment découverts dans la partie sud-ouest des formations ferrifères du Nouveau-Québec, marque une étape dans le développement de l'industrie minière du Québec.

Le présent article a trait à cette partie du Québec qui a reçu tant de publicité en ces dernières années et que l'on situe ordinairement quelque part dans le grand Nord. Pour les uns, c'est la Côte Nord ou la Côte du Labrador; pour les autres c'est le Nouveau-Québec ou l'Ungava.

Les opérations décrites ci-après se situent à quelque 150 milles au nord-ouest de Port Cartier, nouvelle ville érigée à une quarantaine de milles à l'ouest de Sept-Iles, déjà bien connue pour ses expéditions de minerai de fer depuis 1954.

Avant de me rendre moi-même dans ces régions pour y entreprendre des travaux d'exploration minière, j'avais écouté les histoires de prospecteurs et des amateurs de pêche sur leurs découvertes fabuleuses et leurs prises phénoménales de truite et de saumon. C'était le "pays à trois

semaines en bas de Québec" selon une expression que j'avais maintes fois entendue et qui correspondait sans doute au temps qu'on mettait à s'y rendre par le bateau qui faisait escale à chacun des nombreux petits ports échelonnés le long de la Côte.

Cette Côte si lointaine qui n'est plus maintenant qu'à environ deux heures de vol de Québec, à qui elle sera bientôt reliée par une route carrossable sur toute sa longueur, est un pays que l'on apprend vite à aimer non pas tellement à cause de sa beauté



Vue aérienne de la ville de Gagnon. A droite, camp temporaire pour les employés chargés de la construction de la ville. La mine principale et le concentrateur sont situés à environ huit milles à l'est.



Un des barrages en construction sur la rivière Hart-Jaune qui fournira les 60,000 h.p. nécessaires aux opérations minières et au concentrateur du lac Jeannine.

Un autre projet intéressant sur cette Côte-Nord, bien que d'envergure beaucoup moins grande, est l'extraction au nord de Havre-St-Pierre d'un minerai de fer titané dont le traitement se fait dans les fours électriques de Sorel.

Il y a quelques années, un groupe d'ingénieurs et de géologues entreprirent une étude détaillée de la partie sud-ouest des formations ferrifères dans la région des lacs Manicouagan au nord du comté de Saguenay. Une étendue de plus de 20,000 milles carrés fut couverte à l'aide de magnétomètres aériens afin de déceler ce que les géologues conviennent d'appeler des anomalies, c'est-à-dire un changement important dans l'intensité du champ magnétique terrestre.

La découverte de ces anomalies est ordinairement un heureux indice de la présence de substances minéralisées en fer. Des équipes de prospecteurs furent alors organisées, tous les avions disponibles de la région nolisés, et là où ils ne pouvaient se poser, des hélicoptères furent mis en service. Et c'est ainsi qu'un groupe d'ingénieurs et de géologues secondés

par des hommes de la Côte-Nord piquetèrent près de 2,000 claims miniers dans ce pays silencieux et sans hommes où vous pourchassent sans cesse les maringouins tenaces et les mouches agaçantes en vous faisant souhaiter que l'hiver et ses douceurs allant parfois jusqu'à 60° sous zéro, arrivent au plus tôt.

Bien que nous ayons été alors à la recherche d'un minerai à haute teneur en fer qu'on appelle ordinairement "direct shipping" parce qu'il est facile de le traiter directement dans les hauts fourneaux, les seuls gisements qui furent découverts étaient de basse teneur en fer. Des travaux de re-



Coupe dans le roc solide sur le tracé du chemin de fer.

cherches scientifiques furent alors entrepris dans les laboratoires et un atelier d'essai fut transporté par voie des airs près du lac Jeannine, au cours de l'hiver 1956. Cet atelier fut mis en service afin de déterminer la possibilité de traiter économiquement ces gisements d'hématite spéculaire dont la teneur en fer métallique, varie de 30 à 35% en comparaison de 50 à 60% dans le cas des minerais à haute teneur repérés dans d'autres parties du Nouveau-Québec. Devant ces résultats encourageants, la compagnie Quebec Cartier Mining fut constituée au début de 1957 en vertu des lois de la province de Québec.

Les travaux actuels de cette compagnie portent sur la mise en valeur des grandes quantités de minerai à basse teneur dans plusieurs nouvelles mines, la construction d'un atelier de concentration de grande capacité, l'aménagement d'une centrale électrique sur la rivière Hart-Jaune, la construction d'une route d'accès et d'un chemin de fer à partir de Port Cartier (nouvelle municipalité située à l'est de Shelter Bay sur la rive nord du St-Laurent), l'aménagement d'un port en eau profonde ainsi que des quais de chargement près de Port Cartier. Ces travaux nécessitent de plus l'établissement de deux nouvelles villes afin de loger une population de plusieurs milliers de personnes, car ces développements fourniront de l'emploi régulier à environ 2,000 hommes toute l'année.

C'est peut-être des hommes plutôt que des machines qu'il faudrait écrire, car ces hommes ouvrent à la civilisation un pays qu'il faut connaître et avoir parcouru un peu pour juger de la difficulté de la tâche. Ils sont là présentement plus de 7,500, vivant sous la tente, dans des roulottes ou dans de spacieux dortoirs modernes aménagés pour eux. C'est un peu la vie de commu-

nauté avec une heure pour le lever, une cloche pour l'appel aux repas (on en sert 23,000 chaque jour) et le coucher du soleil pour annoncer que la journée est terminée. Déjà quelques centaines de maisons sont construites pour recevoir les familles des travailleurs.

Ce sont ces mêmes hommes qui, après avoir érigé les bâtiments, transporté le matériel et agencé les machines, s'établiront dans ces villes nouvelles où l'urbanisme préside à l'aménagement de coquettes demeures, écoles, églises, centres d'achat, hôpitaux, cinémas, centres sportifs et de tout ce qu'il faut pour la marche et la bonne administration. Les villes dont la construction est déjà en bonne voie ne sont aucunement des "villes fermées" au sens péjoratif du mot mais au contraire, le marchand, l'industriel, le banquier, l'hôtelier y sont les bienvenus. Des conseils municipaux légalement constitués président d'ailleurs à la réglementation et à la destinée de ces villes.

Pour le nouveau résident de la Côte-Nord, il est un élément bien caractéristique de la région : tout lui semble immense. Le pays l'est, les ressources en bois, en minéraux, en électricité le sont aussi, les machines même dépassent les dimensions auxquelles l'homme moyen est habitué; on ne parle que de centaines de milles de distances, de milliers d'acres de terrain, de millions de tonnes de minerai. Il nous semble, du moins à nous Canadiens, qu'il faudra des sommes fabuleuses pour rendre ces ressources disponibles.

Les gisements de fer présentement aménagés en vue de leur extraction sont situés près du lac Jeannine à quelque 140 milles par voie des airs au nord de Port Cartier, dans le canton de Conan (ainsi nommé en souvenir d'un missionnaire eudiste de la Côte-Nord). Cette région du lac Jeannine est le centre actuel des opérations de Quebec Cartier Mining Company.

Bien que plusieurs gisements importants aient été repérés jusqu'ici, l'activité se concentre ac-



Remblai sur le tracé du chemin de fer qui permettra le transport chaque jour des trains de 125 wagons d'une capacité de 100 tonnes chacun.

tuellement sur celui du lac Jeannine, formé d'hématite spéculaire et qui contient plus de 300 millions de tonnes de minerai à basse teneur. On estime que l'extraction qui se fera à ciel ouvert comme dans le cas des immenses carrières de pierre ou de granit, sera de l'ordre de 60,000 tonnes par jour, c'est-à-dire qu'il faudra miner environ un million de tonnes de roche chaque quinzaine.

Ce minerai sera chargé par des pelles électriques d'une capacité de huit verges cubes et transporté à l'atelier de concentration dans des camions de 40 tonnes, ce qui représente 1,500 chargements de camions dans une seule journée. L'on fera ainsi le traitement de plus de 20 millions de tonnes de minerai par année pour produire 8 millions de tonnes de concentrés.

Pour obtenir ces concentrés, on doit d'abord broyer le minerai dans d'immenses concasseurs à mâchoires et gyratoires, puis le réduire ensuite plus finement dans des cylindres rotatifs où l'action



L'un des 17 ponts du chemin de fer.

ascadante du minerai tombant sur lui-même est mise à profit. C'est alors que le minerai est conduit vers les 3,000 spirales où le métal contenu dans la roche se sépare de la gangue stérile à cause de la faible densité du quartz qui est projeté vers les bords extérieurs des spirales alors que le fer plus lourd colle aux

courbes intérieures, d'où il est facilement capté et ainsi concentré.

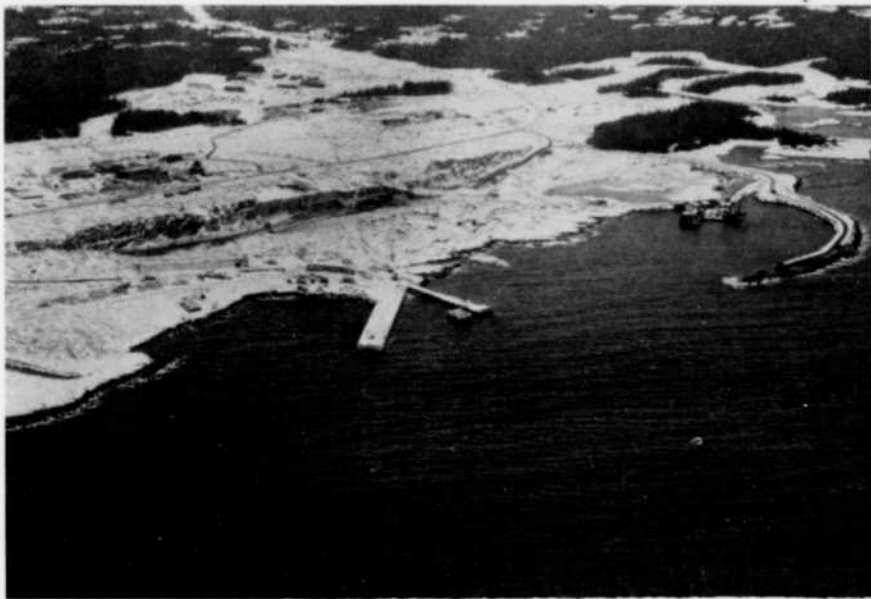
Il va de soi qu'un tel atelier de concentration sera l'un des plus importants au monde. Il sera en marche douze mois par année et ses puissantes machines seront actionnées par l'énergie hydro-électrique de la rivière Hart-Jaune, affluent du grand lac Manicouagan qui se décharge lui-même dans la rivière du même nom et coule ainsi jusqu'au fleuve St-Laurent.

L'équipement de la Hart-Jaune est en lui-même une entreprise de grande envergure. La rivière draine un bassin de plus de 2,000 milles carrés et sur une longueur de 35 milles elle présente un dénivellement de plus de 900 pieds. La compagnie Hart-Jaune Power, filiale de Quebec Cartier Mining Company, a donc entrepris de construire, à environ 15 milles au sud du lac Jeannine, une usine hydro-électrique capable de fournir les 60,000 h.p. qui seront nécessaires aux opérations minières, à la marche du moulin et à l'éclairage de la ville.

Une fois le minerai concentré, il sera chargé à bord de wagons et expédié par la Compagnie de Chemin de Fer Cartier, autre fi-



L'entrée d'un tunnel de près de 1500 pieds sur le parcours du chemin de fer. Il a fallu percer cinq tunnels sur le parcours de la voie ferrée.



Vue aérienne du port en construction à Port Cartier. C'est à même le roc solide qu'est taillé ce port qui pourra recevoir les plus gros navires de transport au monde. Le petit quai au premier plan sert au déchargement des matériaux de construction.

liale de Quebec Cartier Mining Company. D'une longueur totale de 193 milles, ce chemin de fer reliera le lac Jeannine aux quais de chargement de Port Cartier. Avec ses 17 ponts, dont le plus long a près de 900 pieds, à des hauteurs allant jusqu'à 120 pieds au-dessus du niveau de l'eau, et ses cinq tunnels dont la longueur varie entre 350 et 1,500 pieds en pleine falaise de roc, ce chemin de fer permettra le transport de millions de tonnes de concentrés par des trains de 125 wagons d'une capacité de 100 tonnes chacun et tirés par 4 locomotives diesel de 1,800 h.p. Chaque jour et l'année durant, deux de ces trains seront dirigés vers les quais de Port Cartier.

Et ce n'est pas tout. Il faut maintenant transborder la cargaison, la peser, l'analyser et la charger de nouveau dans les bateaux. C'est à Port Cartier que se feront ces opérations. Taillé à même le roc solide ce port de mer, long de 2,500 pieds et large de 400, d'où il faudra extraire plus de six millions de verges cubes de roche, sera l'un des plus profonds au

Canada, soit un minimum de 50 pieds d'eau à marée basse. A raison de 5,000 tonnes l'heure, on pourra y faire le chargement des plus gros navires de transport au monde, c'est-à-dire des chargements pouvant atteindre jusqu'à 100,000 tonnes.

Et voilà, en résumé, comment s'extraira et s'expédiera le minerai de fer du lac Jeannine à compter du premier mois de 1961, car c'est là le délai que nous nous sommes fixé pour le début de nos expéditions.

C'est d'abord vers les aciéries canadiennes que nous désirons expédier notre minerai. L'on sait déjà qu'il y a au Canada quatre aciéries et une usine de fonte dont la production globale annuelle est de l'ordre de 5,000,000 de tonnes. Certaines de ces usines seront partiellement alimentées par notre minerai. Une autre partie importante de nos expéditions sera dirigée vers les aciéries américaines, très avides de recevoir un tel minerai concentré de texture uniforme, dont le principal attribut est d'augmenter sensiblement le taux de production des hauts fourneaux. Enfin, une troi-

sième partie ira vers l'Europe, surtout en Angleterre, en Hollande et en Italie, où le concentré sera aggloméré avant son emploi dans les hauts fourneaux.

Bien que le sujet de cet article ne concerne en rien la question des marchés, il est peut-être bon de rappeler que la production actuelle des mines de fer canadiennes dépasse de beaucoup la capacité totale de nos aciéries, qui alimentent un marché domestique dont l'ampleur dépend du chiffre de notre population. Pour des raisons économiques bien simples, l'excédent de notre production sur notre consommation doit trouver des débouchés sur les marchés extérieurs.

Par contre, il est clair que nous devons étudier toutes les possibilités d'exporter le minerai canadien sous sa forme la plus profitable et que s'il est possible et avantageux de lui faire subir d'autres transformations avant de l'exporter, tous nos efforts doivent tendre vers cette fin. Cependant, n'oublions pas que la première condition de succès d'une telle entreprise est l'existence d'un marché réel pour le produit ouvré. Il est aussi très important d'étudier les possibilités techniques permettant de produire le fer et l'acier en utilisant les combustibles disponibles au Canada.

Et voilà, en résumé, ce qui se passe présentement sur les terrains miniers de Quebec Cartier Mining Company, d'ici 1961 pour le moins. Par la suite il y aura d'autres gisements à développer, d'autres concentrateurs à construire, car les minéraux de fer connus ne possèdent pas tous les mêmes caractéristiques. Il y a lieu aussi de prévoir l'extension du chemin de fer, l'aménagement d'autres villes, en d'autres termes des développements analogues à ceux du lac Jeannine, ce qui permet d'envisager une économie encore meilleure pour notre province et le pays tout entier.

Coup

D'OEIL

sur l'industrie et
sur la technologie

LE SAUTAGE PÉRIMÉTRIQUE

Une nouvelle technique, appelée "sautage périmétrique", a été introduite au Canada par la division des explosifs de la Canadian Industries Limited. Cette technique, qui permet de tailler net des murs de roc, est utilisée dans la construction d'installations de défense près de North Bay. La division compte lui trouver aussi des usages dans les exploitations minières et dans le creusage de tunnels pour aménagements hydroélectriques.

Mis au point en Suède, le sautage périmétrique est destiné aux travaux souterrains, où il réduit le besoin de soutènement du roc. Dans le percement de tunnel; d'amenée, il donne des parois lisses qui amoindrissent la friction au passage de l'eau.

Ainsi, dans l'application de cette méthode au percement d'un tunnel, on fore à la profondeur requise des trous d'environ 1 po. $\frac{1}{4}$ de diamètre, sur tout le périmètre, selon un plan où l'espacement est basé sur la charge à déplacer. Les trous sont chargés de longues cartouches d'un explosif spécial appelé "Xactex". Comme le diamètre de la cartouche — $\frac{5}{8}$ de pouce — est inférieur à celui du trou de mine, il y reste un espace qui sert de coussin et empêche l'éclatement du mur de roc. La charge d'explosif est légère, tout juste suffisante pour fendre le roc entre les trous périmétriques. On allume les charges, soit avec la ronde principale, soit séparément.

La C-I-L fabrique maintenant ces cartouches de Xactex au diamètre de $\frac{5}{8}$ de pouce dans une longueur de 24 pouces. Les cartouches sont raccordées entre elles pour assurer la propagation et, grâce aux raccords, la charge de chaque trou peut être assemblée au préalable.

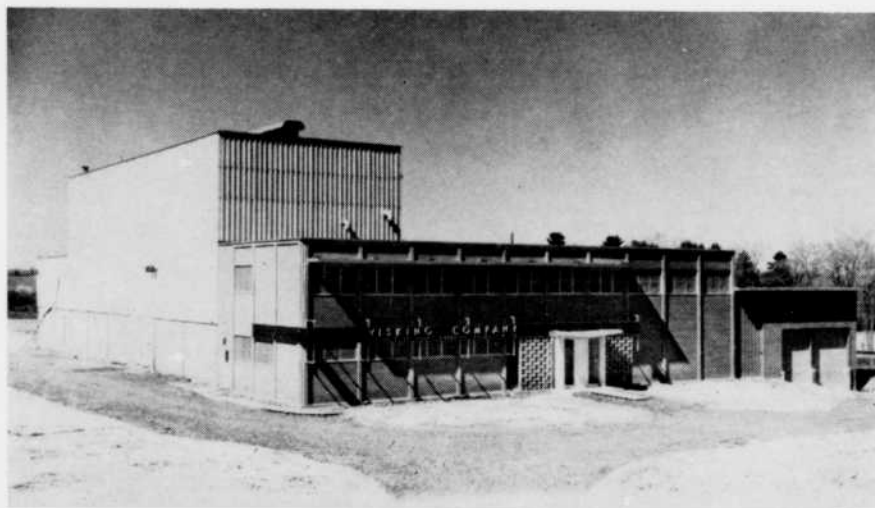
COURS DE TECHNOLOGIE RADIO

Les Éditions Eyrolles viennent de publier un Cours de technologie radio, par Michel Biblot. Nettement orienté vers la pratique, ce cours traite de l'ensemble des questions intéressant l'industrie radioélectrique. En raison de

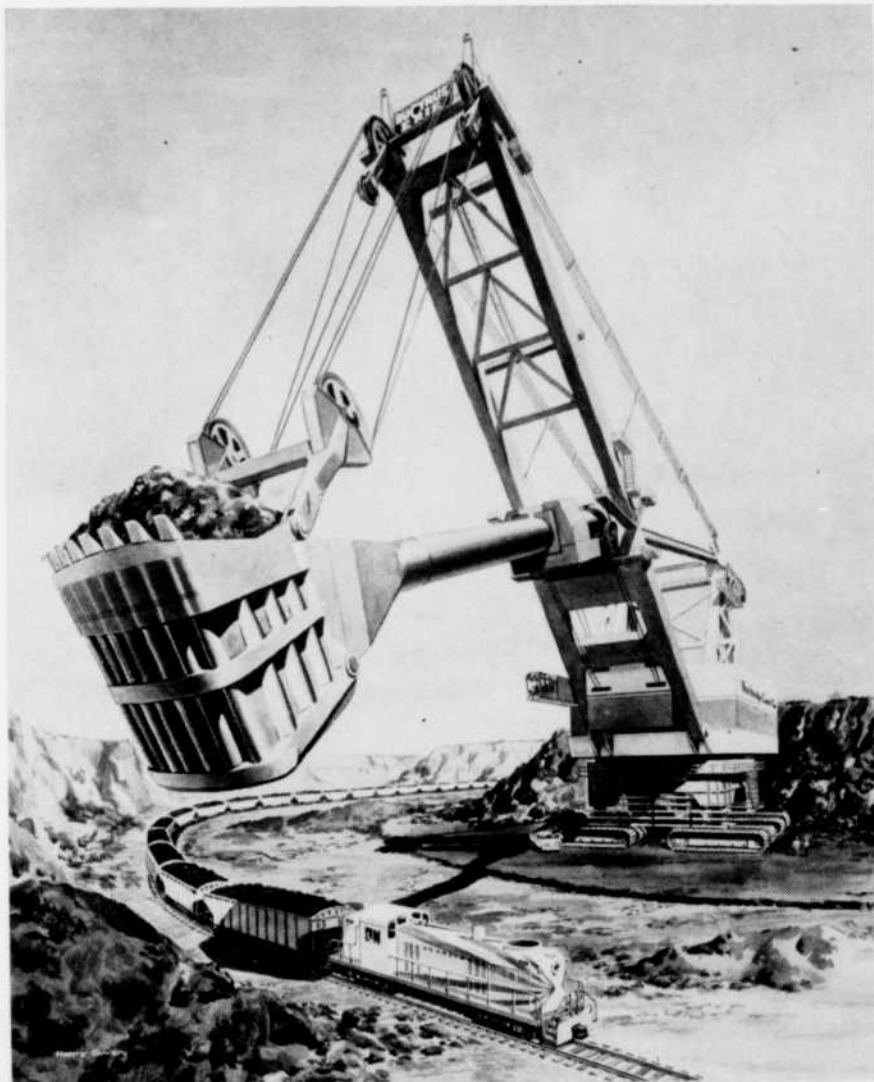
l'abondance des renseignements qu'il contient, il sera d'une indéniable utilité pour des professionnels, aussi bien dans le domaine de la construction radioélectrique que dans celui de la réparation et du dépannage.

Cet ouvrage se présente en deux tomes : le premier étant consacré aux matières d'oeuvre et pièces détachées et le second, aux matériels basse fréquence et d'exploitation radio.

Les commandes doivent être adressées à votre librairie ou aux Éditions Eyrolles, 61, boulevard Saint-Germain, Paris Ve.



La nouvelle usine de la Visking Company (division de l'Union Carbide Canada Limited), à Cowansville. Ces installations modernes sont bien situées pour fournir la pellicule de polyéthylène au Québec et aux Maritimes, où elle trouve un marché qui se développe rapidement. La Visking, qui a aussi des usines à Lindsay (Ontario) et à Fort Garry (Manitoba), est le plus important fabricant de cette pellicule au Canada.



D'après ce croquis, la pelle excavatrice que construit actuellement la Bucyrus-Erie Company pour une entreprise minière du Missouri, écrase par ses dimensions les wagons de chemin de fer. Cette machine, dont la mise en service est prévue pour 1962, sera plus de deux fois aussi grosse que toute autre jamais construite. Son poids sera de 14 millions de livres et sa puissance, de 12,200 hp. La capacité du godet pourra atteindre 115 verges cubes. La terre qu'en un mois cette pelle enlèvera des morts-terrains suffirait à remplir tous les wagons d'un train qui couvrirait la distance entre Pittsburgh et Chicago.

NOUVEAU CAOUTCHOUC DE SILICONE

Un nouveau caoutchouc de silicone vient d'être mis sur le marché par la Canadian General Electric. Ce produit, désigné sous l'appellation RTV-11, présente une viscosité plus faible que tous les composés obtenus jusqu'ici.

Comme tous les autres produits RTV, il se vulcanise à la température normale d'intérieur et possède une grande résistance aux températures extrêmes, à l'ozone, aux intempéries et à l'usure.

Le RTV-11 est d'usage facile à l'intérieur et à l'extérieur d'objets de forme

irrégulière et trouve surtout des applications en électricité et en électronique.

On peut obtenir des renseignements détaillés sur ce produit en s'adressant au Service d'information de la CGE, 940 Lansdowne Avenue, Toronto 4.

COMMANDE DE TURBINES POUR L'AMÉNAGEMENT DE CARILLON

La plus importante commande de turbines hydrauliques jamais donnée par une entreprise canadienne a été accordée récemment à la Dominion Engineering par la Commission Hydroélectrique de Québec.

Cette commande comporte 12 turbines Kaplan, d'une puissance nominale de 60,000 hp chacune, destinées au vaste aménagement de l'Hydro à Carillon. Ces turbines seront munies de roues mobiles dont les aubes se régleront automatiquement à la position voulue, selon les variations de la demande.

L'exécution de ce contrat demandera environ 1,400,000 heures de main-d'œuvre dans les ateliers de mécanique et fonderies de la Dominion Engineering, à ses établissements de Lachine, et 600,000 heures chez les sous-traitants de la province.

Les turbines, dont la livraison doit s'échelonner entre le milieu de 1961 et la fin de 1963, seront les plus puissantes du genre installées au Canada. Jusqu'ici, les plus puissantes étaient celles de 45,000 hp, en service à l'aménagement de Beechwood, au Nouveau-Brunswick, qui ont aussi été fournies par la Dominion Engineering.

LA PRÉVENTION DES EXPLOSIONS DANS LES RÉSERVOIRS D'AVIONS

Les avions supersoniques sont d'une telle rapidité qu'il est possible que le frottement de l'air produise suffisamment de chaleur pour causer l'inflammation spontanée de l'essence dans les réservoirs. Les formes aérodynamiques d'aujourd'hui accroissent aussi les dangers d'incendie dans les réservoirs lorsqu'un avion est frappé par la foudre.

M. J.-Allan Perham, président de la British Oxygen Canada Limited, annonce la mise au point du premier système de protection constante contre ces dangers. Ce système consiste à injecter de l'azote liquide dans l'air qui sort du moteur, comprimant ainsi les réservoirs et rendant chimiquement inerte le mélange gazeux qu'ils contiennent. D'après M. Perham, ce système peut être adapté facilement aux installations existantes, et 12 livres d'azote liquide par 1,000 gallons d'essence assurent une protection constante.

Ce système a l'avantage de fonctionner sans arrêt, supprimant ainsi

U N I V E R S I T É D E M O N T R É A L

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

ÉCOLE D'INGÉNIEURS — FONDÉE EN 1873

Le programme d'études prévoit une formation générale dans les sciences fondamentales et appliquées suivie de la spécialisation dans les branches suivantes du génie :

GÉNIE CIVIL et GÉNIE ÉLECTRIQUE

GÉNIE MÉTALLURGIQUE

GÉNIE MÉCANIQUE

GÉNIE CHIMIQUE et GÉNIE MINIER

GÉNIE GÉOLOGIQUE et GÉNIE PHYSIQUE

Les élèves reçoivent à la fin du cours les diplômes d'ingénieur et de Bachelier ès Sciences Appliquées avec mention de la spécialité choisie.

Des études post-universitaires peuvent être entreprises à la fin du cours régulier et conduire aux grades universitaires de Maître et de Docteur ès Sciences Appliquées.

Des cours de perfectionnement et d'avancement sont donnés le soir durant l'année académique. Ils s'adressent aux personnes qui ont, à des degrés divers, des fonctions dans la vie technique et industrielle de la province.

CENTRE DE RECHERCHES ET LABORATOIRES D'ANALYSES



Prospectus et renseignements sur demande

2500, avenue Guyard, Montréal 26 — Tél.: RE. 9-2451

Veillez adresser toute correspondance à C.P. 501, Snowdon, Montréal 29



On peut résoudre aisément le problème de l'enlèvement du métal fondu, assure M. Guy Savard, directeur des ventes dans la province de Québec pour Canadian Liquid Air. Avec M. Savard, on reconnaît, au centre, M. Paul Brissette, ingénieur en chef, Crucible Steel of Canada Limited, Sorel, et M. Gilles Messier, Service des ventes, Sorel Industries, Montréal.

les conditions qui pourraient être favorables à une explosion. L'azote liquide peut être produit par des installations du genre de celles qui fournissent l'oxygène liquide pour les appareils respiratoires.

LA PERFECTION TECHNIQUE D'UN RÉSERVOIR LE FAIT RÉSISTER AUX FLAMMES

Un réservoir à propane de 10,500 gallons (É.-U.) n'a subi que des dommages superficiels dans l'incendie qui a détruit un atelier de peinture, à Montréal, entraînant des pertes de \$70,000. Le camion qui servait de support au réservoir a pris feu, et la peinture qui recouvrait le réservoir lui-même a été emportée.

L'intensité de la chaleur a produit une pression de 250 livres au pouce carré; mais l'ouverture automatique d'une soupape a compensé cette pression en relâchant des quantités contrôlées de propane très volatile. Un jet de flamme sortant du réservoir montait jusqu'à 125 pieds dans les airs.

Le camion a été si fortement endommagé qu'il n'a pas pu être remis en service, mais le réservoir, qui avait été fabriqué quelques jours plus tôt par la Sparling Tank & Mfg., de New Toronto, a résisté; on en a remplacé le dessous et, après quelques jours, il était de nouveau sur la route.

RACCORDS DE TUYAUX TRANSITE

La Canadian Johns-Manville vient de publier une brochure entièrement nouvelle sur les raccords Transite à utiliser avec les manchons Ring-Tite. La brochure présente des séries de tables pour consultation rapide et décrivant les T, Y, coudes, manchons réducteurs, adaptateurs, bouchons et colliers. On peut se procurer des exemplaires de cette brochure en s'adressant à la Canadian Johns-Manville Co., Limited, 565 Lakeshore Rd. E., Port Credit (Ontario).

JOINTS POUR CONDUITES D'ALUMINIUM

La compagnie Thomas & Betts Limited, de Montréal, annonce une gam-

me nouvelle et complète de joints pour conduites d'aluminium, eux-mêmes faits en aluminium. C'est l'usage de plus en plus répandu de canalisations en aluminium qui a amené cette nouvelle fabrication. Ces joints ont l'avantage d'éliminer toute possibilité d'action électrolytique pouvant résulter du contact de métaux dissemblables, surtout en milieux humides ou en présence de corrosifs.

Cette nouvelle série de joints comprend des douilles, contre-écrous, raccords, valves de réduction, colliers et boîtes de jonction, dans toutes les dimensions régulières.

On peut obtenir un catalogue illustré, contenant tous les renseignements utiles, en s'adressant au siège social de la compagnie, 751 carré Victoria, Montréal, ou à l'une de ses succursales: Saint John, N.-B.; Toronto, Winnipeg, Calgary, Edmonton et Vancouver.

ENLÈVEMENT ET RÉCUPÉRATION DES DÉCHETS INDUSTRIELS

La National Welding Co. Ltd., de Montréal, a mis en service à Beaconsfield des installations pour l'enlèvement de la boue selon un nouveau procédé par suspension atomisée. Encouragée par le succès qu'elle y a obtenu, elle porte maintenant son attention vers d'autres applications de ce procédé, soit l'enlèvement et la récupération des déchets industriels.

La nouvelle méthode a été mise au point par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers. Les installations de Beaconsfield ont été conçues, réalisées et soumises à une période d'essai par la National Welding, et elles ont reçu l'approbation officielle de la municipalité en novembre dernier.

Les premiers travaux en ce domaine portaient sur les déchets industriels. Après avoir réussi l'expérience de Beaconsfield, la compagnie a plusieurs projets en cours pour d'autres municipalités et elle espère maintenant travailler de concert avec les industries à la mise au point d'usines pilotes qui pourraient résoudre les problèmes de l'enlèvement et de l'utilisation des déchets en récupérant les matières chimiques qu'ils contiennent.



Le film Kodak pour rayons X industriels...
"SAUVEGARDE" CET ATERRISSAGE DE 133,000 LBS.

Roues abaissés! Volets abaissés . . . voilà un autre atterrissage en douceur sur des pneus inspectés aux rayons X. L'inspection aux rayons X des pneus d'avions n'est qu'une des raisons pour lesquelles Air Canada est renommé dans le monde entier pour ses excellentes statistiques de sécurité.

Cette compagnie aérienne est probablement la première qui ait vérifié la sécurité de l'état du caoutchouc en employant du film pour rayons X; sa section des rayons X a mis au point, après une étude approfondie, une technique rapide et économique de détection des pneus aux parois faibles ou fissurées.

Les rayons X industriels jouent aussi un rôle d'une importance vitale dans d'autres parties du système d'inspection des avions d'Air Canada. Les bras d'ailes, la structure du fuselage et les refroidisseurs d'huile font également l'objet d'une inspection régulière aux rayons X — qui se traduit par des épargnes considérables pour Air Canada — T.C.A.

Inspection de sécurité aux rayons X d'un pneu d'un avion Super Constellation, avec le film Kodak type 'AA'.



En deux ans et demi, Air Canada a multiplié plusieurs fois sa consommation de film pour rayons X dans l'inspection des avions.

Le film pour rayons X industriels peut constituer une solution économique et rationnelle à vos problèmes d'inspection, dans ce domaine et dans bien d'autres applications. Parlez-en à votre représentant technique Kodak ou écrivez à:

CANADIAN KODAK CO., LIMITED, Toronto 15, Ontario

Kodak
MARQUE DÉPOSÉE

Vie de L'ASSOCIATION

COQUETEL 1960

Le dimanche, 20 mars 1960, eut lieu à l'Hôtel Reine-Elizabeth, à Montréal, le 21ème Coquetel annuel de notre Association. Un peu moins de 500 personnes y assistèrent soit quelque deux cent vingt-cinq personnes de moins qu'au premier coquetel de novembre 1958. La proximité des réunions annuelles de la C.I.P.Q. et de l'E.I.C. a sans doute eu une influence adverse sur le nombre des présences à cette fête. La "Ruche" destinée à percevoir des souscriptions pour constituer des bourses aux étudiants de Polytechnique a rapporté \$160. Nos félicitations au comité d'organisation du coquetel, présidé par Monsieur André Aird '38.

TOURNOI DE GOLF 1960

Nos diplômés qui aiment jouer au golf ou qui apprécient, d'une façon générale, les activités sociales de notre

Association, ne devraient pas manquer de retenir une date sur leur calendrier : il s'agit du vendredi, 19 août prochain. C'est alors en effet qu'aura lieu, au Club de Golf de Lachute, le tournoi de golf de notre Association. Il y aura également tournoi de "putting", et ceux qui ne jouent pas au golf aimeront sans doute se joindre au groupe pour le souper qui suivra le Tournoi. Le comité d'organisation du tournoi de golf est présidé par Monsieur Claude Dupras '55.

NÉCROLOGIE

P.-A. Archambault '25 est décédé le 21 février 1960 à l'âge de 57 ans. Né à St-Paul L'Ermitte, Monsieur Archambault fit ses études secondaires au Séminaire de Joliette après quoi il s'inscrivit à l'École Polytechnique. En 1932, il s'associait à Lucien Roy, un de ses confrères de promotion, pour ouvrir un bureau d'ingénieurs-conseils sous la raison so-

ciale Archambault & Roy. Rappelons que son associé est décédé lui-même l'an dernier. Comme partenaire de ce bureau, Monsieur Roy se spécialisa surtout dans les structures de béton armé.

J.-Ernest Fleury '17 est décédé en Birmanie en janvier 1960 à l'âge de 69 ans. Né aux Trois-Rivières, le 16 octobre 1890, Monsieur Fleury avait fait ses études classiques au Séminaire St-Joseph des Trois-Rivières, après quoi, il s'était inscrit à l'École Polytechnique. Monsieur Fleury fut le premier professeur à l'École de Papeterie installée aux Trois-Rivières, en novembre 1923 dans les locaux de l'École Technique. Il y poursuivit sa carrière d'enseignement jusqu'en septembre 1958 alors qu'il fut délégué en Birmanie par la Société de Reconstruction économique de l'Unesco pour y agir comme expert-consultant en vue d'y organiser un Institut de Papeterie utilisant le bambou comme matière première.

" SCIENTIA "

Revue Internationale de Synthèse Scientifique

UNE REVUE QUI TRAITE DE TOUTES LES SCIENCES — (1960) — cinquante-quatrième année)

Directeur : P. BONETTI

"SCIENTIA" est la seule Revue de son genre qui : ait une diffusion mondiale * traite les problèmes les plus récents et les plus fondamentaux de chaque branche du savoir * puisse se flatter d'avoir parmi ses collaborateurs les savants les plus illustres du monde entier * publie les articles dans la langue originale de leurs Auteurs (français, italien, anglais, allemand, espagnol). * Chaque fascicule contient en Supplément la traduction française intégrale de tous les articles publiés dans le texte dans une langue autre que le français.

Des renseignements, prospectus et un spécimen gratuit vous seront expédiés contre envoi à

"SCIENTIA" — ASSO (Como, Italie)

de 100 FF (ou somme équivalente en autre monnaie) en timbres-poste de votre Pays, préférablement de la poste aérienne pour remboursement des frais d'expédition et d'affranchissement.

ABONNEMENTS : U.S. DOLLARS 14.00 (ou somme équivalente en autre monnaie)

Pour un fascicule de l'année en cours, veuillez envoyer FF 500. qui seront déduits du prix de l'abonnement.

ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES

affiliée à l'Université de Montréal

TROIS ANNÉES D'ÉTUDES

DEUX ANNÉES
DE FORMATION ÉCONOMIQUE
ET COMMERCIALE GÉNÉRALE
UNE ANNÉE DE SPÉCIALISATION

Section générale des affaires

Section économique

Section comptable

Section des sciences actuarielles

OUVERTURE DES COURS
le deuxième mardi de septembre



PROGRAMME SPÉCIAL
POUR LES INGÉNIEURS,
AVOCATS, NOTAIRES
ET AGRONOMES

Demandez notre prospectus

535 ave Viger, Montréal



CHAUDIÈRES AUTOMATIQUES

VOLCANO

NOUVEL ÉDIFICE LIQUID AIR 1210 rue Sherbrooke ouest, Montréal, P. Q.

Cet édifice moderne, construit et administré par Yale Enterprises Ltd., de Montréal, est chauffé au moyen de deux chaudières automatiques Volcano "Starfire" de 60 c.v., placées dans la chaufferie sur le toit de la bâtisse. L'eau chaude fournie aux occupants provient d'un chauffe-eau domestique Volcano "Dynatherm".

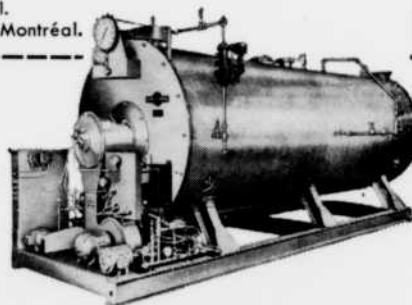
Architecte: Reuben Fisher, Montréal.

Ingénieur-conseil: Fernand J. Léger, I.P. Montréal.

Entrepreneurs généraux: J. E. Vincent Limitée, Montréal.

Entrepreneurs en chauffage: Doucet & Doucet Limitée, Montréal.

- * Les chaudières automatiques "Starfire" assurent un fonctionnement parfait à un coût minimum.
- Chaudières des plus modernes fonctionnant au gaz ou à l'huile — de 9 à 500 c.v.
- Appareil autonome. Son faible encombrement permet de l'installer dans les chaufferies de petites dimensions. Installation facile.
- Ne nécessite pas de fondation ou de cheminée de grandes dimensions (seul est nécessaire un tuyau d'échappement dépassant les parties immédiatement avoisinantes de l'édifice.) Prête à fonctionner après le branchement des conduites de vapeur, d'eau et de combustible et le raccordement au réseau électrique.
- Economique.



Plus d'un siècle d'expérience dans
la fabrication des chaudières

VOLCANO LIMITÉE

8635 boul. St-Laurent, Montréal, Qué.

Usines: St-Hyacinthe, Qué.

Succursales: Toronto • Québec

Service de ventes et de réparations
dans toutes les villes importantes.

LES CHAUDIÈRES AUTOMATIQUES UTILISÉES PARTOUT AU CANADA

Nouvelles des DIPLOMÉS

Auger, Raymond '59, qui travaillait précédemment Defense Construction, à Cold Lake, en Alberta, est maintenant à l'emploi du bureau d'ingénieurs-conseils Surveyer, Nenniger & Chênevert, à Montréal.

Barbeau, Gilles '59, a quitté la Cité de Montréal et travaille maintenant pour la Corporation du Gaz Naturel de Québec à Montréal.

Bertrand, Luc '55, a quitté Canadian Sirocco de Montréal et travaille maintenant pour le bureau d'ingénieurs-conseils Gagnon & Horvath, à Montréal.

Bruneau, Jean-D. '58, qui a été à l'emploi de Quémont Construction, et Crémazie Construction, travaille maintenant pour le Conseil des Ports Nationaux, au Port de Montréal.

Caron, Fernand '50, a quitté J.-H. Lord & Cie et travaille maintenant pour le bureau d'ingénieurs-conseils Lalonde & Valois, à Montréal.

Charland, Roger '39, vient d'être élu président de l'Association des estimateurs municipaux de la province de Québec.

Chevalier, Gilles '59, a quitté la Cie Northern Electric de Montréal et travaille maintenant pour le bureau d'ingénieurs-conseils Gagnon & Horvath, à Montréal.

Dufresne, Alphonse-Olivier '11, a récemment pris sa retraite de son poste de sous-ministre des Mines de la Province de Québec, qu'il occupait depuis 1941. Monsieur A.-O. Dufresne vient d'être également élu au conseil d'administration de la Cie Noranda Mines Ltd.

Duquette, Roland-R. '32, a été élu récemment président de l'Association des Ingénieurs-conseils du Canada.

Duval, Lionel '50, est co-propriétaire de la Société Duval & Gilbert Inc., fabricants de portes et fenêtres, à Rivière-des-Prairies.

Fortier, Pierre '57, a quitté Canadian Pratt & Whitney et travaille maintenant à la Cie Dominion Bridge en tant que spécialiste en échange de chaleur.

Gérin, Maurice '20, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Giroux, Léopold '47, vient d'être élu vice-président de l'Association des estimateurs municipaux de la province de Québec.

Jodoin, René '59, travaille maintenant pour le bureau d'ingénieurs-conseils Desjardins & Sauriol à Pont-Viau.

Joyal, Jules '20, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Labelle, Gaston '19, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Larivière, Roger '58, a quitté la section de l'Hydraulique de l'École Polytechnique et travaille maintenant à la Division des Aménagements de l'Hydro-Québec, à Montréal.

Lavoie, Jean-Marc '57, travaille maintenant pour Sperry Gyroscope Co. of Canada Ltd., à Montréal.

L'Heureux, P.-Réal '52, a quitté la Cie Spino Construction et travaille maintenant pour le bureau d'ingénieurs-conseils Lalonde, Girouard & Letendre, à Montréal.

Michaud, J.-Adolphe '17, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Milot, Michel '58, a quitté Boeing Airplane à Seattle, Washington et travaille maintenant à la Cie de Téléphone Bell du Canada à Montréal.

Morin, Jos-Henri '45, a quitté la Cie Square-D du Canada et est maintenant gérant des Ventes industrielles à la Cie L.D.G. Products Inc., distributeurs de matériel électrique, à Montréal.

Murphy, Maurice '58, travaille maintenant pour la Régie de l'Électricité et du Gaz à Montréal.

Nobert, Jacques '58, a quitté la Cie Upton, Bradeen & James, et travaille maintenant pour American Standard Products (Canada) Ltd. Après un stage de quelques mois aux États-Unis, il sera attaché au bureau de Montréal.

Paiement, Louis-Philippe '20, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Pellerin, Albert-C. '59, a quitté la Cie Northern Electric de Montréal et travaille maintenant pour la Société Canadian Westinghouse également à Montréal.

Quenneville, Claude '51, a quitté la Cie Upton, Bradeen & James, et vient d'ouvrir, sous le nom d'Hydro Dynamique Ltée, une agence exclusive de pompes industrielles.

Roberge, Gaston '57, a quitté la Cie C.I.L. à Beloeil et travaille maintenant pour Hartco Steel Products Ltd. à Montréal.

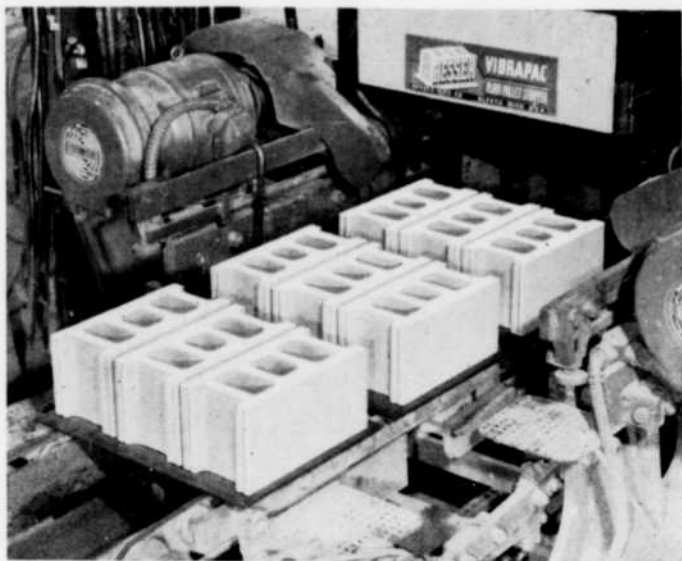
Roy, André-J. '57, a quitté Canadair et travaille maintenant pour Liquid Carbonic Canadian Corp. Ltd., à Montréal.

Roy, Eugène '20, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

Trudel, Louis '36, directeur des Relations extérieures de Shawinigan Water & Power Co., vient d'être ré-élu au conseil de l'International Public Relations Association.

Vaillancourt, André '59, qui travaillait précédemment pour l'Office de l'autoroute des Laurentides est maintenant au service de la Cité de Montréal.

Villeneuve, J.-Arthur '17, a été nommé membre à vie de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

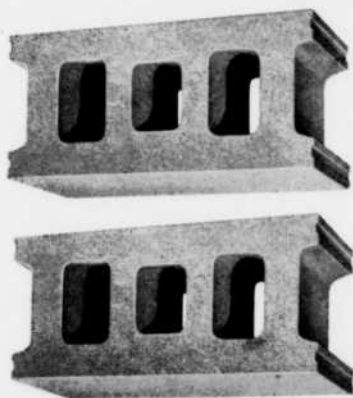


**Comme
des gouttes
d'eau . . .**

TOUS LES BLOCS

BEAUDRY

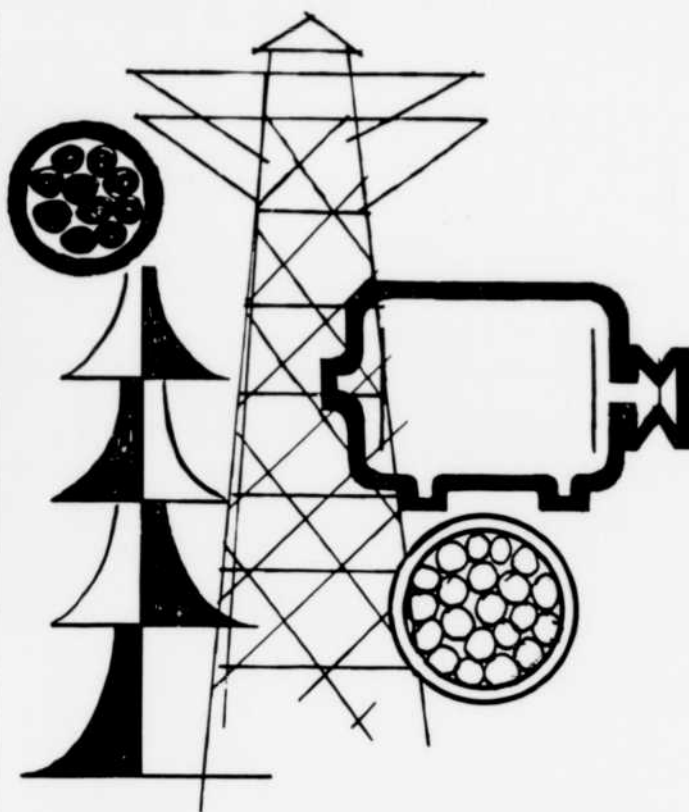
SONT UNIFORMES



Chez **BEAUDRY**, lorsque les opérateurs pressent sur le bouton d'une puissante Besser Vibrapac, ils savent déjà que tous les blocs ainsi produits auront des caractéristiques parfaitement uniformes. Comme des gouttes d'eau . . . chaque bloc sera parfaitement identique à son voisin.

B **H • BEAUDRY**
BLOCS DE CIMENT CO. LTÉE
3671, BOUL. LEVESQUE
ST-VINCENT-DE-PAUL **No. 1-7764**

L'INGÉNIEUR



installations électriques

**SOUS LA SURVEILLANCE
D'INGÉNIEURS PROFESSIONNELS**

- Plus de 25 années d'expérience dans tous les genres d'installations électriques.
- Interprétation fidèle des plans et des devis.

R. RIOPELLE, Ing.P.
L. DUFRESNE, Ing.P.
G. LAPRISE, Ing.P.
P. DORVAL, T.D.
P. MOREL, T.D.
G. PLANTE, T.D.
R. CAMDEN, T.D.
J. P. PICARD, T.D.



METROPOLE ELECTRIC INC

MONTREAL — QUEBEC — OTTAWA

L. E. DANSEREAU, *Président*

Les notes qui suivent indiquent les emplois occupés par les finissants de 1960, tels que connus en date du 15 mai 1960.

Spécialité génie civil

Albert Aimaro, Jos Nicoletti & Fils Ltée, Base de Roc, Joliette.
Richard Aquin, Service des ponts, Ministère provincial des travaux publics.
Gilles Archambault, Ville de Montréal.
Roger Ayotte, Ville de Montréal.
Robert Barbeau, Montreal Engineering.
Jean-Guy Beauchamp, Condé Co. Ltée, Montréal.
Guy Beaudoin, Paul Pelletier, Ing-Cons.
Pierre Beaudry, Hydro-Québec.
Louis Beauvais, Quéumont Construction Inc.
Gérald-G. Bélanger, Entreprise Fougere de Paris, France.
Roger Bissonnette, Pressure Pipe.
Gilles Boyer, Service des ponts, Ministère provincial des travaux publics.
Claude Brochu, Ville de Montréal.
Serge Campanelli, Ville de Montréal.
Raymond Collette, C.C. Lindsay, ingénieur-conseil.
Jean-Paul Corbeil, Ville de Montréal.
Maurice D'Arcy, Dominion Bridge, Montréal.
Marc Desruisseaux, Cartier & Leclerc, ing.-conseils.
Michel Durand, Service des ponts, Ministère provincial des travaux publics.
André Forest, Ville de Montréal.
Guy Fournier, Montreal Engineering Co. Ltd.
Gaston Germain, Service des ponts, Ministère provincial des travaux publics.
René Girard, Office du Drainage (gouv. prov.)
Émile-L. Juneau, Lalonde, Girouard & Letendre, ing.-cons.
Claude Lafond, Lalonde, Girouard & Letendre, ing.-cons.
Guy Lafontaine, Corporation de Gaz Naturel du Québec.
Roger Lalancette, Shell Oil Co. Ltd.
Pierre Landry, Office du Drainage de la Province.
Louis Larivière, Lalonde, Girouard & Letendre, ing.-cons.
Guy Larocque, Hydro-Québec.
Simon Lavallée, Ville de Montréal.
Denis Lecomte, Hydro-Québec.
Henri Lévesque, Ville de Montréal.
André Loiselle, études postuniversitaires à Polytechnique.
Jean-Marie Maccabée, Beaulieu, Trudeau & Associés, ingénieurs-conseils.
Gérard Mercier, Guy A. Faubert, Ing-P., à Beauharnois.
Joseph-Marie Nadeau, Cartier, Côté & Piette, ing.-cons.

Laurent Paquin, Canadair Limited.
Silvio-M. Perrotta, Ville de Montréal.
Yves Picard, Ville de Montréal.
André Pilon, Ville de Montréal.
Alexandre Placas, Aviation Royale Canadienne (Plan ROTP).
Jacques Plourde, Hydro-Québec.
Roland Provencher, Ville de Montréal.
René-P. Racicot, Corporation de Gaz Naturel du Québec.
Jacques Renaud, Ville de Montréal.
Jacques Richard, Ville de Montréal.
Jean-Pierre Riel, Gagnon & Horvath, ing.-cons.
Gilles Rinfret, Aluminum Company of Canada (Arvida).
Jean-Guy Rodrigue, Hydro-Québec.
Normand St-Pierre, Ville de Montréal.
Robert Santerre, Ville de Montréal.
Gérald Scott, Beaulieu, Trudeau & Associés, ing.-cons.
Guy Simard, Paul Pelletier, Ing-P., (Mistassini).
Jacques Tellier, Lalonde & Valois, Ing.-cons.
Jean-Guy Themens, Ville de Montréal.
Denis Tremblay, Lalonde & Valois, ing.-cons.
Richard Vanier, Corporation de Gaz Naturel du Québec.

Spécialité génie mécanique

Antoine Adjouri, Canadian Liquid Air.
Yvon Ainsley, Canadian Allis-Chalmers, Lachine.
Fernand-A. Bélanger, Northern Electric, Lachine.
Pierre Bellemare, Quebec Cartier Mining Co. (Port Cartier).
Pierre-Émile Bonin, Ville de Montréal.
Jacques Boudreault, Le Chauffage Moderne (St-Félicien, P.Q.).
Jean Brunelle, Ralston & Purina, Montréal.
Claude Coudry, Hydro-Québec.
Michel Dagenais, La Compagnie de Téléphone Bell.
Jacques Donato, Dominion Bridge, Lachine.
Roland Doré, Département de génie mécanique, École Polytechnique.
Raymond Felx, Consolidated Paper Corp. Ltd. (Grand'Mère, P.Q.).
Raymond Goyette, Consolidated Paper Corp. Ltd. (Trois-Rivières, P.Q.).
Marcel Lafrance, Marine Industries Ltd.
Gilles Larocque, Gagnon & Horvath, ing.-cons., Montréal.
Claude Martin, Hydro-Québec, Montréal.
Raymond-Marie Martin, Pageau & Morel, Ing.-cons.

Raymond Milks, Iron Ore, Schefferville, P.Q.
Louis Morin, Shell Oil Co. Ltd.
André Paquette, Price Brothers & Co. Ltd. (River Bend, P.Q.).
Marius Paquin, Shawinigan Chemicals Limited.
André Payette, Canadian General Electric.
Guy Perreault, Leblanc & Montpetit, ing.-cons.
Richard Pronovost, Consolidated Paper Corp. (Shawinigan).
Roland Roux, Northern Electric Co.
Joseph-Jacques Roy, Stage industriel de 2 ans en Angleterre; pour l'été '60, Pageau et Morel, ing.-cons.

Spécialité génie électrique

Gilles Baril, Hydro-Québec.
Jacques-V. Bélanger, Aviation Royale Canadienne.
Claude Boivin, Canadian Westinghouse, Trois-Rivières.
Benoit Bouchard, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Jean Boulanger, National Co., Boston, Mass, U.S.A.
Robert Bourassa, Aviation Royale Canadienne.
Didier Buron, Audet Refrigeration Inc., Montréal.
Gilles Courtemanche, Ministère des Transports, Montréal.
Denis Demers, Département de la production de la défense (gouv. fédéral).
André Desjardins, Northern Electric Co.
Jean Desrochers, Ministère des mines, gouv. prov.
Roland Doucet, Gouvernement du Canada, Armée (RCEME).
Marc Dupuis, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Claude Durand, Hydro-Québec.
Henri-Paul Filion, Société Radio-Canada.
André Gatien, Shawinigan Water and Power Co.
Emery Kiss, Hydro-Québec, Montréal.
Jean-Guy Lampron, Shawinigan Water and Power Co.
Réal L'Archevêque, Boursier Athlone (études en Angleterre).
Guy Légaré, Hydro-Québec.
Maurice Léger, La Cie de Téléphone Bell du Canada.
Michel Lemoine, Aviation Electric Ltd.
Jean-Jacques Léveillé, Commission hydroélectrique du Québec.
Jean-Dostie Paquin, Ministère de la production de la défense, Ottawa.
Jean-Guy René, Shawinigan Water & Power Co.
Jean-Claude Roy, Hydro-Québec.
Gilles Sauvé, Hydro-Québec.
Jacques Telio, Northern Electric Co. Ltd.
Florian Toutant, General Precision Industries, Granby, P.Q.



L'intercepteur
qui se vide
pratiquement
de lui même!



INTERCEPTEUR DE GRAISSE

JOSAM, SÉRIE JH — Efficacité minimum de retenue — 95%. — Nettoyé automatiquement au seul tour d'une soupape.

La graisse est prélevée grâce à la construction exclusive et brevetée de l'appareil qui fonctionne à basse pression. Sa base en escalier favorise l'évacuation des matières plus grosses que les dépôts et les particules solides de l'eau. La graisse est relâchée au seul tour d'un volant de soupape. Et sans odeur ni saleté. Pas besoin d'enlever le couvercle ou de prélever la graisse à la main. Une soupape... un tour exécute le tout.



Le raccord Josam à débit contrôlé et avec regard est inclus avec chaque interception Josam sans supplément.

Obtenez des détails complets en consultant votre bureau local ou votre fournisseur Josam, ou en écrivant à :

JOSAM PRODUCTS LIMITED, Dépt. J

Bureau général et Division de la Fabrication
130 BERMONDSEY ROAD TORONTO 16, ONTARIO

Au Canada, le plus important fabricant d'appareils de plomberie de drainage pour tous les besoins d'immeubles commerciaux, industriels, publics et d'habitation, y compris : drains de plancher et de toit; drains de douche; amortisseurs de martèlement d'eau; drains super-flo; drain levelize; bouches de regards et d'inspection; bornes-fontaines; interception de graisse, cheveux, huile, effilandrés et plâtre; drains et intercepteurs d'usine d'emballage; supports et raccords unitron pour appareils sanitaires suspendus au mur; appareillage de piscines et nombre d'autres produits et raccords de drainage.



MATÉRIEL ET INSTRUMENTS
DE DESSIN, DE REPRODUCTION
ET D'ARPENTAGE
MICROMASTER 105 MM
INSTRUMENTS D'OPTIQUE
RÈGLES À CALCULS
GALLONS À MESURER

Recommandés par les ingénieurs
depuis près de 93 ans.

KEUFFEL & ESSER OF CANADA LTD.

679 ouest, rue St-Jacques,
MONTREAL

PLOMBERIE CHAUFFAGE VENTILATION

INSTALLATIONS METRO, INSTALLATIONS *expertes!*

Une interprétation précise des plans, des matériaux de la plus haute qualité, une main-d'œuvre experte, sous la surveillance d'ingénieurs professionnels, garantissent une installation telle que spécifiée.

M. M. LAPIERRE, Ing.P.
M. E. GELINAS, Ing.P.
M. J. MARIE, Ing.P.
M. R. GIARD, T.D.
M. H. BLAIS, T.D.
M. N. FREDETTE, T.D.
M. R. CHAMPAGNE, T.D.

**METRO INDUSTRIES
LIMITÉE**
L. E. Dansereau, président
MONTREAL - OTTAWA

Spécialité génie chimique

Jean Bérard, Imperial Oil Co. Ltd.
André Chabot, Imperial Oil Co. Ltd.
Pierre Daudelin, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Paul DeBroin, Canadian Chemicals Co. Ltd.
Marcel Gratton, Armstrong Cork Canada Ltd.
André Lapalme, Canadian Industries Limited, Shawinigan.
Alphonse Lafrance, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Guy Marquet, Aluminum Co. of Canada Ltd.
André Marsan, Boursier Athlone (études en Angleterre); pour l'été '60, Imperial Oil Co.
Claude Racine, Consolidated Paper Co. Ltd.
Robert Valley, Compagnie de Papier Rolland.

Spécialité génie métallurgique

Jean-Félix Desmarais, Steel Co. of Canada.
Jean-Jacques Dionne, Aviation Electric Co. Ltd.

Claude Fagnan, Crucible Steel Ltd.
Jean Lefebvre, Canadian Liquid Air.
Gilles Marineau, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Paul Nagy, Aluminum Co. of Canada Ltd.

Spécialité génie minier

Bernard Boucher, Ministère des Mines, gouv. prov.
Paul Brunel, Iron Ore Co. of Canada, Schefferville, P.Q.
Charles-Henri Cauchon, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Laurent Marion, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Nicolas Nadai, Voirie Provinciale.
Majella Perron, Aluminum Co. of Canada Ltd.
Denis Poulin, Quemont Mining Corp. Ltd. (Noranda).

Spécialité génie physique

Jean Galipeau, Canadian General Electric.
André Gervais, études postuniversitaires à l'Université de Caroline du Nord; pour l'été '60, Société Radio-Canada.

Pierre Godbout, La Compagnie de Téléphone Bell.
Roland Grenier, R.C.A. Victor.
Denis Hogue, Northern Electric Co. Ltd.
Alexis Slobodskoy, Sprague Electric, North Adams, Mass., U.S.A.

À la Société des Ingénieurs Civils de France. Quelques-uns de nos diplômés ont été admis dernièrement dans la Société des Ingénieurs Civils de France:

MM. Branchaud, Arthur
Campeau, Chs-Édouard
Carmel, Guy
Côté, Gaétan-J.
Deslauriers, Chs-Édouard
Gaufrey, Henri
Granger, Jean
Gravel, Charles-Ed.
Guérard, J.-Antoine
Laberge, Charles-René
Lavigne, Ernest
Monti, Thomas-A.
Normandin, Michel
Piette, Guillaume
Royer, Maurice.

I. MÉMORIAL DE L'ARTILLERIE DE LA MARINE (de 1892 à 1906)

II. MÉMORIAL DE L'ARTILLERIE NAVALE (de 1907 à 1915)

III. Mémorial de l'Artillerie Française (de 1922 à)

Publication éditée par le Ministère des Forces Armées (Guerre - Marine - Air) les Ministères de l'Éducation Nationale et de la Production Industrielle avec le concours d'organisations scientifiques et industrielles. Fait suite au *Mémorial de l'Artillerie Navale* et au *Mémorial de l'Artillerie de la Marine*.

Publie des mémoires originaux traitant de l'artillerie et de toutes les sciences qui s'y rattachent, des traductions et des relevés bibliographiques.

Quatre fascicules par an (format 26 × 17 cm) d'environ 250 pages chacun.

RÉDACTION : 10, rue Sextius-Michel — Paris (XVe).

ABONNEMENT ET VENTE : Imprimerie Nationale, 27, rue de la Convention, Paris (XVe). —
Chèque postal : PARIS No 19-731.

PRIX DE L'ABONNEMENT : France, Union Française : 5600 F, fascicule séparé : 1800 F.
Étranger : 7000 F, — 2000 F.

Un fascicule spécimen du *Mémorial de l'Artillerie Française* est adressé contre envoi à l'Imprimerie Nationale, 27, rue de la Convention, PARIS (XVe) de la somme portée ci-dessus pour un fascicule séparé.

TIRAGES À PART SPÉCIAUX



**ÉVITEZ
LES PERTES ET
LES TROUBLES
AVEC
NOS GROUPES
ÉLECTROGÈNES**

LE POSTE
DE RADIO
CHLT
SHERBROOKE
EST PROTÉGÉ
PAR UN
ONAN
À GAZOLINE
DE 50 KW



*Modèle à gazoline et diesel
de 500 watts à 230 kilowatts*

J.A. FAGUY
6 FILS L^{TE}

COMMUNIQUEZ
IMMÉDIATEMENT
AVEC
J. P. FAGUY, Ing. P. 51
OU
DÉMANDEZ
NOTRE CATALOGUE

7485 BOUL. ST-LAURENT, MONTRÉAL



Voyez LaSalle pour

PRODUITS INDUSTRIELS

FIBERGLAS*

**Le merveilleux produit de fibre
de verre aux 101 usages**

ISOLANTS FIBERGLAS pour

- TUYAUX • BOUILLOIRES • ENTREPOTS
- FRIGORIFIQUES • TOITURES • CONDUITS
- CONSTRUCTION DOMESTIQUE •
- FILTRES A AIR "DUST STOP"

*Marque déposée



Montréal: 159, rue Jean-Talon O. CRéscent 3-1781
Québec: 325, De L'Espinay, Edifice "D", LA. 4-2478

canlab

Pour votre

LABORATOIRE

- Appareils
- Verreries
- Réactifs

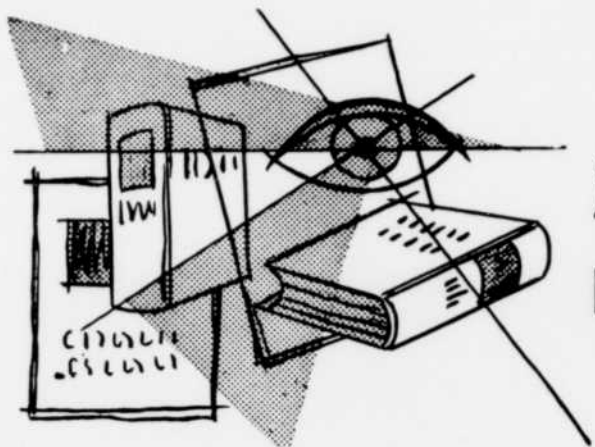
Adressez-vous à

**CANADIAN LABORATORY
SUPPLIES LIMITED**

8655, Delmeade Road
Montreal, P.Q.

80 Jutland St.
Toronto, Ont.

288, William St., Winnipeg, Man.
8540 - 109th St., Edmonton, Alta.



Revue DES LIVRES et PÉRIODIQUES

Liste des ouvrages reçus récemment à
la Bibliothèque de l'École Polytechnique

Accélérateurs de particules et progrès scientifique par N. FELICI. Un volume, éd. 1960, 8 1/2 x 6, 161 pages, 29 figures, broché : 12,50NF. Paris, Dunod. Éditeur.

Dans ce livre, le Professeur Felici expose le plus simplement possible le principe de fonctionnement et l'intérêt scientifique des accélérateurs. Il y présente une description de ces divers appareils actuellement en service dans le monde et un tableau des premières expériences réussies ainsi qu'une intéressante tentative de classement des accélérateurs. En outre, dans sa conclusion sont évoquées d'une façon plus générale les conséquences philosophiques de progrès scientifiques dont les accélérateurs sont des outils puissants.

Introduction aux circuits à transistors par E. H. COOKE-YARBOROUGH, M.A., M.I.E.E. traduit de l'anglais par A. MAITRE. Un volume, éd. 1960, 6 1/2 x 4 1/4, 161 pages, 60 figures, relié toile souple 14NF. Paris, Dunod, Éditeur.

Dans cette monographie, l'auteur insiste principalement sur les phénomènes qui distinguent le transistor du tube électronique, avec l'appui d'une description physique imagée (courants d'électrons et de trous).

Il présente successivement le semi-conducteur, la diode et le transistor et met en lumière leurs propriétés caractéristiques : non-linéarité, influence de la température, etc. L'étude des circuits fondamentaux est abordée ensuite par des méthodes simples de calcul : il s'agit en particulier des circuits linéaires avec leurs performances à basse fréquence et leurs limitations à haute fréquence et des circuits non linéaires, pour lesquels les caractéristiques particulières du transistor (accumulation des porteurs) sont essentielles.

L'ouvrage se termine par la description détaillée de quelques applications spécifiques des transistors, choisies dans des domaines en rapide évolution : instruments de détection nucléaire, calculateurs arithmétiques et analogiques.

Naissance et mort du soleil par G. GAMOV. Un volume, éd. 1960, 8 1/4 x 6 1/4, 162 pages, 68 figures, broché : 7,40NF. Paris, Dunod.

Depuis qu'il existe une pensée scientifique, l'origine de l'énergie solaire constitue l'une des énigmes les plus exaltantes, mais aussi les plus difficiles à résoudre. On est arrivé à démontrer avec l'espoir d'une solution scientifique correcte que l'énorme quantité d'énergie rayonnée par le soleil provient de la transformation d'éléments chimiques qui se produit en son sein, et que cette transformation n'est autre que la "transmutation des éléments" poursuivie en vain par les alchimistes du Moyen Âge.

Mais le soleil n'est qu'un membre de la nombreuse famille des étoiles répandues à travers les vastes espaces de l'univers, et le problème solaire englobe aussi celui de l'évolution des étoiles; il nous ramène à l'énigme initiale de la création de l'univers stellaire.

Dans ce livre on trouvera un tableau des découvertes et des théories fondamentales grâce auxquelles nous pouvons nous former une vue d'ensemble de l'évolution du monde. Cet essai qui contient des idées nouvelles et est illustré de photographies et de dessins s'adresse d'abord aux lecteurs possédant une certaine culture scientifique, mais tout esprit curieux le lira avec plaisir et avec fruit.

Vues nouvelles sur le monde des sons par F. WINCKEL. (Collection Science et Progrès 3). Un volume, éd. 1960, 8 1/4 x 6 1/4, 152 pages, 74 figures, broché : 12NF. Paris, Dunod.

Le prodigieux développement des procédés d'amplification et de reproduction électro-acoustique des sons a provoqué on le sait ces dernières années une véritable révolution de l'acoustique musicale.

Le Professeur Winckel, un des meilleurs acousticiens allemands, nous décrit, en contraste avec les ouvrages scolaires ou traditionnels d'acoustique, les aspects élémentaires du phénomène

sonore, analyse ce qu'on appelle maintenant l'objet sonore et en tire des applications au langage et à la musique.

Insistant d'abord sur ce fait évident que passent sous silence les livres d'acoustique physique que le phénomène sonore n'est pas indéfini puisqu'il est composé de notes, de syllabes, etc..., il en tire les conséquences physiques qui l'amènent à toute une étude microscopique du son mettant en évidence maints aspects curieux de l'audition restés pratiquement inconnus du public cultivé faute d'une introduction simple à ces problèmes.

Les yeux et la vision par YVES LE GRAND. (Collection Science et Progrès 1). Un volume, éd. 1960, 8 1/4 x 6 1/4, 196 pages, 78 figures et 4 planches, broché : 14,50NF. Paris, Dunod.

Le professeur Yves Le Grand, qui est un des spécialistes français les plus réputés en Optique Physiologique a condensé dans ce volume l'essentiel de nos connaissances sur les mécanismes de la vision chez l'homme.

Les points de vue du physicien, du physiologiste et même du psychologue ont été adoptés tour à tour ce qui nous donne une image aussi précise et complète que possible de ce phénomène extraordinaire qu'est le sens de la vue, tant par son importance, puisque presque la moitié de notre connaissance du monde nous vient des yeux, que par sa complexité.

Au cours de son exposé, l'auteur a traité quelques cas de défauts visuels ou anomalies de la vision colorée, mais dans ce livre, ce sont les seuls sujets abordés qui se situent aux frontières de la médecine.

Un grand nombre d'expériences simples et parfois surprenantes sont proposées au lecteur, qui pourra les réaliser sur lui-même; il apprendra ainsi à voir l'univers avec des yeux neufs et à en tirer plus de plaisir.

Organisation et fonctionnement des machines arithmétiques par H. BOUCHER, préface de F. H. Raymond. Un volume, éd. 1960, 9 3/4 x 6 1/2, 428

JEAN DOUCET, Ing. P.
Secrétaire-trésorier

AUGUSTE DOUCET
Président

DOUCET & DOUCET LTÉE

ENTREPRENEURS
CHAUFFAGE — PLOMBERIE

1640 ave North, coin Rockland

MONTRÉAL

CR. 4-5426



MAGNÉTOPHONES

ACCESSOIRES

HAUTE FIDÉLITÉ

RADIO & TÉLÉVISION

PAYETTE RADIO LIMITÉE

730 ouest, rue St-Jacques, Montréal

UN. 6-6681

POUR

Des sondages bien faits

EXIGEZ

NATIONAL BORING AND SOUNDING INC.

615 rue Belmont, Montréal 3

Spécialistes en étude des sols depuis 25 ans

▶ TRAVAUX DE SONDAGES SOUS LA DIRECTION D'INGÉNIEURS SPÉCIALISÉS ET D'UN PERSONNEL BIEN ENTRAÎNÉ.
RAPPORTS SUR LA NATURE ET LES PROPRIÉTÉS DU SOL POUVANT ÊTRE FACILEMENT INTERPRÉTÉS PAR LES PROPRIÉTAIRES,
ARCHITECTES, INGÉNIEURS ET CONSTRUCTEURS.

PRÊT D'HONNEUR DE L'ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS

*"Qui donne au fonds
prête aux étudiants"*

pages, 223 figures et 3 planches hors-texte, relié toile demi-souple, 70.00NF, Paris, Masson et Cie.

Nées aux États-Unis il y a environ 15 ans, mais encore presque inconnues en France en 1955, les machines à calculer arithmétiques y ont fait récemment une entrée remarquée et le nombre des utilisateurs s'accroît rapidement. Dans tous les cas, des besoins longtemps ressentis, mais informulés, sont soudain confrontés avec le matériel capable de les satisfaire, et même avec plusieurs matériels difficiles à comparer. Souvent les critères de choix manquent, ainsi que le personnel d'exploitation.

L'auteur, spécialiste des équipements de calcul automatique qu'il exploite depuis de nombreuses années dans la Marine et qu'il professe dans le cadre de l'Université de Toulouse, a voulu répondre à ces deux soucis et rédiger aussi bien un livre de formation pour les futurs spécialistes qu'un texte de référence pour les utilisateurs actuels. Il ne s'agit donc pas d'un livre de vulgarisation, ni d'un "manuel du constructeur de machines". Sa compréhension ne nécessite aucune connaissance particulière; il est accessible à tous ceux qui ont quelques notions d'électronique pratique.

Le livre est divisé en trois parties: technique, exploitation, historique.

Bois et charpentes en bois, le matériau et son utilisation par FRANÇOIS-XAVIER BROCHARD, préface de Jean Compredon. Un volume, éd. 1960, 9 $\frac{3}{4}$ x 6 $\frac{1}{4}$, 256 pages avec de nombreux tableaux et figures et 16 planches hors texte de photographies, relié toile 37NF. Paris, Éditions Eyrolles.

La construction d'éléments porteurs en bois exige entre autres la connaissance des calculs et de la technique des assemblages. Or, ces connaissances théoriques sont encore insuffisamment répandues.

C'est la raison pour laquelle M. Brochard, chef de Service au Bureau Sécurité et au Centre Technique du Bois, a rédigé cette importante étude. Il y retrace, à l'usage des constructeurs, l'ensemble des notions acquises dans ce domaine qui connaît un renouveau. Il montre comment le bois, matériau hétérogène et variable, peut néanmoins être mis en formules, calculé suivant les règles classiques de la résistance des matériaux, et mis en oeuvre de façon logique et rationnelle. Il donne des indications détaillées sur les divers assemblages de charpente, leurs caractéristiques, leur résistance mécanique et leur comportement.

Deux importants chapitres sur les assemblages cloués et boulonnés et sur la charpente collée donnent à l'ouvrage un indéniable caractère de grande nouveauté technique.

Cours de technologie radio par MICHEL BIBLOT Tome I matières d'oeuvre et pièces détachées 1960, 9 $\frac{3}{4}$ x 6, 152 pages, 43 figures, 36 tableaux, broché: NF 12.00. Tome II matériels basse fréquence et d'exploitation radio, 1960, 9 $\frac{3}{4}$ x 6, 176 pages, 72 figures, 15 tableaux, broché: NF 13.00. Paris, Éditions Eyrolles.

Chimie propédeutique: à l'usage des candidats aux certificats propédeutiques des Facultés des Sciences, des élèves des classes de mathématiques supérieures et spéciales et des candidats aux grandes Ecoles Scientifiques par RENÉ LOMBART. Un volume, éd. 1959, 9 $\frac{1}{2}$ x 6 $\frac{1}{4}$, 395 pages, 85 figures, broché: 35 NF, U.S. \$7.42. Paris, Gauthier-Villars.

Ce livre expose les bases de la chimie à un niveau intermédiaire entre les niveaux élémentaire et supérieur, de logique, de simplicité et de précision; il est divisé, conformément à la tradition, en trois parties, Chimie générale, Chimie minérale et Chimie organique. Les notions fondamentales (électronégativité, oxydation, réduction, fonction, etc.) sont définies aussi clairement que possible; les théorèmes de thermodynamique chimique sont énoncés avec sobriété et précision à la manière de théorèmes de géométrie élémentaire; une place importante a été donnée aux considérations historiques toutes les fois que la clarté l'exigeait (notamment à propos de l'électronégativité); certaines questions (par exemple la théorie atomique) ont été traitées d'un point de vue philosophique. Bref les méthodes déductive, historique, philosophique, descriptive ont été employées tour à tour suivant les cas.

Sur l'écoulement des gaz dans les milieux poreux. On the flow of gases in porous media par A. HOPEURT. Un fascicule extrait de la Revue de l'Institut Français du Pétrole vol. XIV no 11 novembre 1959 et no 12 décembre 1959. 10 $\frac{1}{2}$ x 8 $\frac{1}{4}$, 80 pages, broché. Paris, Société des Éditions Technip.

Doublet d'hélices coaxiales, hélice unique par JEAN CRISTESCU. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air no 356. Un volume, éd. 1959, 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 276 pages, broché: 8000 francs. Paris, Au Service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Étude du processus de germination dans la réaction de l'oxygène sur le cuivre aux températures élevées par FINN GRONLUND, préface de J. Bénard. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, notes techniques 88. Un volume, éd. 1960, 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 43 pages, broché: 7.50NF. Paris, Au service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Explorations de la couche limite, en turbulence naturelle et en turbulence provoquée, dans le cas d'un écoulement supersonique le long d'une plaque plane par JEAN-FRANÇOIS DORAND. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air no 355. Un volume, éd. 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 106 pages, broché: 2830 francs. Paris, Au Service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Mécanisme de la déviation des jets propulsifs par M. KADOSCH. Publications Scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, Bulletins des Services techniques 124. Un volume, éd. 1959, 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 155 pages, broché: 4300 francs. Paris, Au Service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Nébulogramme pour l'étude des brouillards naturels et artificiels par ALBERT ARNULF, LÉON BRICARD, CLAUDE VÉRET et ROBERT BURTIN. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air notes techniques 86. Un volume, éd. 1959, 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 24 pages, broché: 600 francs. Paris, Au Service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Sur la stabilité des solutions colloïdales en présence d'électrolytes par GINETTE WATELLE-MARION, préface de P. Laffitte. Publications Scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, notes techniques 87. Un volume, éd. 1960, 10 $\frac{1}{2}$ x 7, 97 pages, broché: 16.00NF. Paris, Au Service de Documentation et d'Information Technique de l'Aéronautique.

Handbook of the collection illustrating motor cars part II catalogue of exhibits with descriptive notes by C.F. CAUNTER. One book, ed. 1959, 9 $\frac{1}{2}$ x 6, 187 pages, illustrations, bound: 10s. 6d. Ministry of Education: Science Museum; London, Her Majesty's Stationery Office.

Strength of materials: an introduction to the analysis of stress and strain by JOHN CASE and A. H. CHILVER. One book, ed. 1959, 9 $\frac{1}{2}$ x 6, 390 pages, bound \$6.00. London, Edward Arnold Publishers Ltd., Toronto, The Macmillan Company of Canada Limited, 70 Bond Street.

A text-book of metallurgy by A. R. BAILEY, M. Sc., One book, ed. 1960, 2nd edition, 8 $\frac{3}{4}$ x 5 $\frac{1}{2}$, 561 pages, bound \$5.00. Toronto, The Macmillan Company of Canada Ltd.

Theoretical Hydrodynamics by L. M. MILNE-THOMPSON C.B.E. One book, ed. 1960 (4th edition), 10 x 6 $\frac{1}{2}$, XXI-660 pages, bound \$11.25. The Macmillan Company of Canada Limited, 70 Bond Street, Toronto 2.

REgent 3-8268

BEAUCHEMIN, BEATON, LAPOINTE

Ingénieurs conseils

J.-A. BEAUCHEMIN
W. H. BEATON

H. LAPOINTE
R.-O. BEAUCHEMIN
PAUL BEAUCHEMIN

6655, Côte des Neiges (suite 410) Montréal 25

REgent 3-8264

LEBLANC & MONTPETIT

Ingénieurs Conseils

Spécialistes : PLANS et DEVIS

Electricité, Plomberie, Chauffage, Ventilation
Electrification rurale, Air climatisé.
Egouts et Aqueducs Municipaux

6655, Côte des Neiges (Ch. 470) Montréal, Qué.

Lalonde, Girouard & Letendre

Ingénieurs conseils

8790, avenue du Parc — Tél. DU. 1-3991

MONTREAL, QUÉ.

Tél. : AV. 8-1246-7

LES INGÉNIEURS ASSOCIÉS LTÉE

LABRECQUE, GAGNON & NEUGEBAUER

Ingénieurs conseils

10 ouest, rue St-Jacques

MONTREAL

UN. 6-7721

Surveyer, Nenniger & Chênevert

Ingénieurs conseils

ARTHUR SURVEYER, D. Ing.

E. NENNIGER, Ing. P.

J. TURCKE, Ing. P.

R. PROVOST, Ing. P.

J.-G. CHÉNEYERT, Ing. P.

J. HAHN, Ing. P.

C.-A. DAGENAIS, Ing. P.

ÉDIFICE KEEFER, Chambre 1012

MONTREAL

ÉTUDE C.-E. GRAVEL

Ingénieurs Conseil

J.-B. Nobert, Ing. P.
G. Jolicoeur, Ing. P.
Y. Girard, Ing. P.
M. Héту, Ing. P.
C. Ouellet, Ing. P.
J. Curzi, Ing. P.
J. Fortier, Ing. P.
C. Mitci, Ing. D.
F.-J. Leduc, Ing. P.,
D.Sc.A.

TRAVAUX MUNICIPAUX

*Spécialités : Usine de filtration, Usine d'épuration
Traitement des eaux, Urbanisme*

BUREAU :

3717 Boul. Lévesque - MU. 1-1692-3-4 Montréal 40

L'Abord-à-Plouffe

Gérard-O. Beaulieu, Ing. P., B. Sc. A.,
Chargé du cours de ponts à Polytechnique.
Marc-R. Trudeau, Ing. P., B. Sc. A.,
Chargé du cours de structures à Polytechnique.

J.-René Lalancette, Ing. P., B.Sc.A.,
Pierre G. Beaulieu, Ing. P., B.Sc.A.,
Chargé du cours de constructions
métalliques à Polytechnique.

BEAULIEU, TRUDEAU & ASSOCIÉS

Ingénieurs conseils

SPÉCIALISTES EN CHARPENTES

Bâtisses religieuses, civiles et industrielles
Ponts, viaducs, tunnels, réservoirs et piscines

6650, avenue Darlington, Montréal 26 - RE. 7-3628

Collet Frères, Limitée

Entrepreneurs généraux

1978 rue Parthenais,

MONTREAL, QUÉ.

Index des Annonceurs

Allied Chemical Canada Ltd.	5	Josam Products Ltd.	53
•		•	
Beauchemin, Beaton, Lapointe	59	Keuffel & Esser of Canada Ltd.	53
Beaudry Blocs de Ciment Ltée	51	•	
Beaulieu, Trudeau & Associés	59	LaSalle Builders Supply Ltée	55
Bruning Company, Charles	8-9	Lalonde, Girouard & Letendre	59
•		Leblanc & Montpetit	59
Canada Cement Co. Ltd.	3	•	
Canadian Allis Chalmers Ltd.	2	Metro Industries Ltd.	53
Canadian General Electric Co. Ltd.	Couv. 2	Metropole Electric Inc.	51
Canadian Industries Ltd.	Couv. 3	•	
Canadian Kodak Co. Ltd.	47	National Boring & Sounding Inc.	57
Canadian Laboratory Supplies Ltd.	55	Noranda Copper & Brass Ltd.	7
Collet Frères Ltée	59	•	
Corporation de Gaz Naturel du Québec	6	Payette Radio Ltée	57
•		Pressure Pipe Ltd.	Couv. 4
Doucet & Doucet Ltée	57	•	
•		Secrétariat de la Province	10
École Polytechnique de Montréal	45	Surveyer, Nenniger & Chênevert	59
École des Hautes Études Commerciales	49	•	
•		Thomas & Betts Ltd.	4
Faguy & Fils Ltée, J.-A.	55	•	
•		Volcano Ltée	49
Gravel, C.-E.	59		
•			
Ingénieurs Associés Ltée, Les	59		

**UN IMPORTANT PROGRÈS - DÙ À LA RECHERCHE C-I-L - DANS
LE CONTRÔLE DES DYNAMITAGES À RETARDEMENT**

NOUVEAUX

*détonateurs électriques à
retardement type **LPV****

**GAMME COMPLÈTE DE SEIZE INTERVALLES (0 À 15)
ASSURANT UNE PRÉCISION DE SAUTAGE SANS PRÉCÉDENT**

SEIZE INTERVALLES (0 à 15) offrent un choix suffisant pour obtenir les meilleurs résultats. Le minutage extrêmement précis assure les résultats recherchés en évitant le chevauchement des explosions.

Dispositifs de court-circuitage et fils avec isolant plastique.

DOUILLE MONOPIÈCE SANS ORIFICES, supprimant les ratés dus au marteau d'air ou d'eau. La douille courte facilite la confection des amorces.

UTILISABLES avec tous les voltages communément employés pour le sautage à retardement ordinaire.

ASSEMBLAGE À LA MACHINE, assurant un rendement uniforme et constant.

BOUCHON DE CAOUTCHOUC et sertissure circulaire, assurant l'étanchéité du détonateur.

Pour de plus amples renseignements, adressez-vous au plus proche bureau de ventes des explosifs C-I-L ou écrivez à la *Canadian Industries Limited*, Division des Explosifs, C.P. 10, Montréal, P.Q.

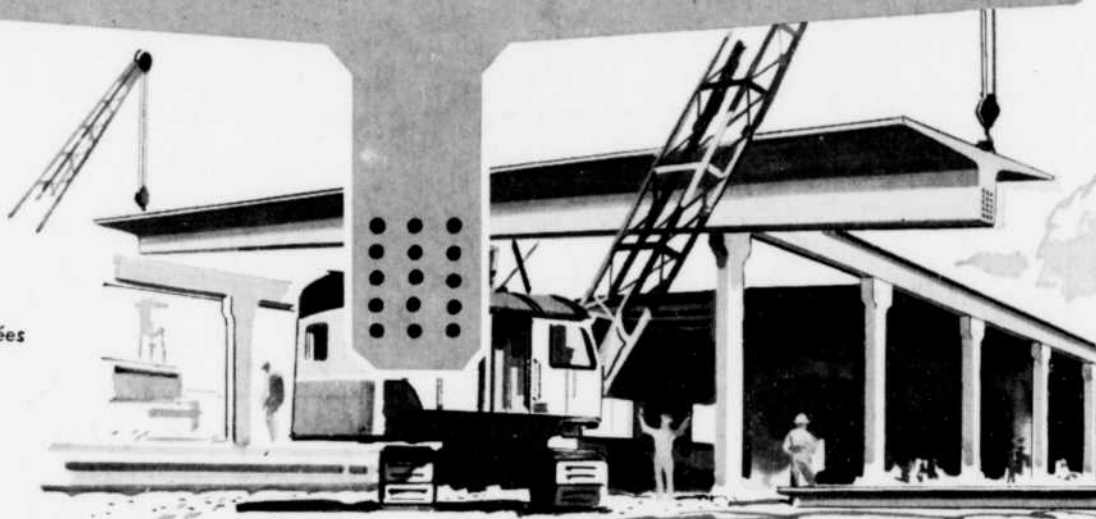
Explosifs C-I-L

Explosifs à toutes fins... partout au Canada

*Marque déposée des détonateurs à retardement de type "Long Period Ventless".

Pour **SUPPORTER** de **PLUS LOURDES CHARGES**

*Maximum de résistance
au feu ou à l'humidité.
Minimum d'entretien;
les dalles peuvent être laissées
apparentes.
D'une pose facile
et d'un aspect agréable.*



SUR DE PLUS LONGUES TRAVÉES

LES DALLES SIMPLE-T DE BÉTON PRÉCONTRAIT sont maintenant fabriquées à Montréal

Pour faire suite à l'introduction sur le marché des dalles Double-T, préfabriquées en béton précontraint, Pressure Pipe Limited ajoute à sa gamme de matériaux pour la construction des toits et des planchers: la nouvelle dalle de béton Simple-T.

- **LONGUEUR DES TRAVÉES**... jusqu'à 90 pieds
- **LARGEUR DES DALLES**..... jusqu'à 8 pieds
- **ÉPAISSEUR DES DALLES**... de 16 à 36 pouces

Concept idéal pour planchers et plafonds de:

Salles de Quilles
Patinoires
Piscines

Eglises
Gymnases
Auditoriums

Garages
Entrepôts
Hangars d'avions

ou tout autre édifice où l'on veut aménager de vastes espaces sans piliers.

UN MEMBRE DU GROUPE CANADA IRON



POUR PLUS AMPLES INFORMATIONS, ADRESSEZ-VOUS À:

PRESSURE PIPE *Limited*

6905, AVE CLANRANALD, MONTRÉAL 29, P.Q. • RE.9-6391.