



NOVEMBRE/DÉCEMBRE 1974
No 304
60^e année

INGÉNIEUR



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

M. Clément Crépin, Ing. P.É.
27 Ave des Rapides,
Québec S, Qué.

La tempête se lève!

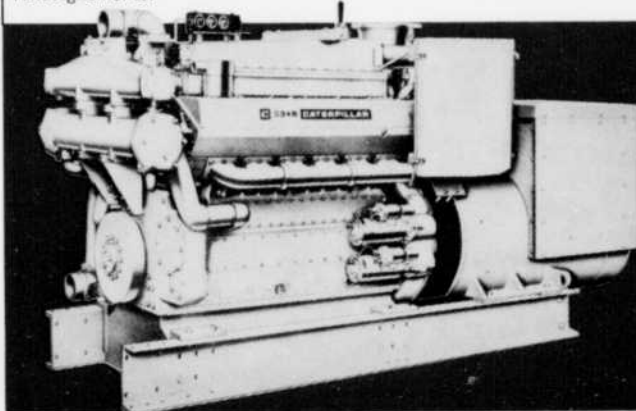
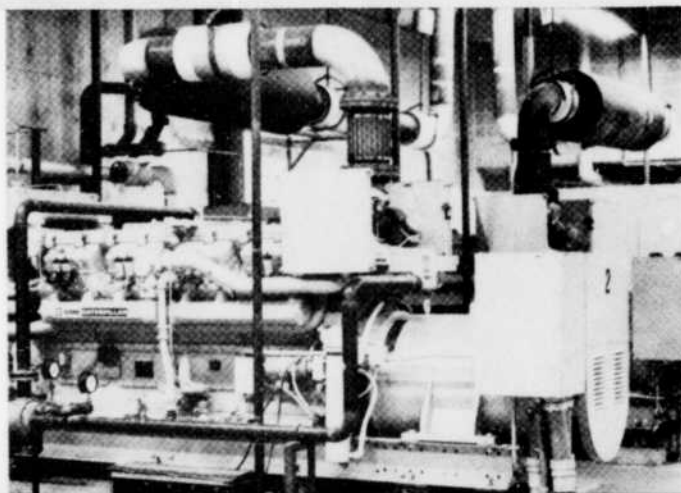


UNE GÉNÉRATRICE DE SECOURS CATERPILLAR C'EST DE L'ÉNERGIE EN RÉSERVE

En ville comme à la campagne, les rudes tempêtes de l'hiver bouleversent et ravagent tout. Une génératrice Caterpillar vous permet d'éviter les pertes coûteuses provoquées par les pannes d'électricité. Caterpillar offre une gamme complète de groupes électrogènes diesel simples de 50 à 900 kw de puissance. Un de ces groupes, ou une combinaison appropriée, peut satisfaire parfaitement à vos besoins d'énergie en cas d'urgence.

Ces génératrices, peu encombrantes, sont conçues pour démarrer automatiquement et fournir la puissance nécessaire en moins de dix secondes après une panne. Pour la génération d'électricité et l'entraînement mécanique, Caterpillar met aussi à votre disposition des matériels bi-service (usage normal et d'urgence) et de force motrice qui réduisent les frais d'exploitation dans presque tous les cas d'utilisation continue à haut régime.

Les génératrices de secours Caterpillar bénéficient des nombreux avantages que Hewitt offre à sa clientèle dont, par exemple, un stock complet de pièces, l'inspection périodique et le programme d'entretien préventif. Appelez-nous; un de nos techniciens vous donnera plus de renseignements.



 **CATERPILLAR**

Hewitt

**ADMINISTRATION
ET RÉDACTION**

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

COMITÉ ADMINISTRATIF

René DUFOUR, ing.
président
Claude BRULOTTE, ing.
André A. LOISELLE, ing.
Michel ROBERT, ing.
Michèle THIBODEAU-DEGUIRE, ing.
Yvan HARDY, ing.

SECRÉTAIRE ADMINISTRATIVE

Yolande GINGRAS

RÉDACTRICE

Madeleine G. LAMBERT

COMITÉ CONSULTATIF DE RÉDACTION

Jacques DE BROUX, ing.
directeur
Thomas AQUIN, ing.
René AUDY, ing.
André BAZERGUI, ing.
Bernard BÉLAND, ing.
Jean CHARTRAND, ing.
Marcel FRENETTE, ing.
J. Guibert LORTIE, ing.
Robert MORISSETTE, ing.
Michel PARENT, ing.
Thomas J. PAVLASEK, ing.
Robert G. TESSIER, ing.

PUBLICITÉ

JEAN SEGUIN & ASSOCIÉS INC.
Courtiers en publicité

3578, rue Masson, Montréal, Québec H1X 1S2
Téléphone : 729-4387

EDITEURS :

L'Association des Diplômés de Polytechnique, en collaboration avec l'École Polytechnique de Montréal, la Faculté des Sciences de l'Université Laval et la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Sherbrooke. Publication mensuelle. — Imprimeur : Les Presses Elite.

ABONNEMENTS :

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

DROITS D'AUTEURS : les auteurs des articles publiés dans L'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories ou des opinions émises par eux. Reproduction permise, avec mention de source; on voudra bien cependant faire tenir à la Rédaction un exemplaire de la publication dans laquelle paraîtront ces articles. — Engineering Index, Chemical Abstracts et Radar signalent les articles publiés dans L'INGÉNIEUR.

Tirage certifié : membre de la
Canadian Circulation Audit Bureau



ARTICLES

4 APPLICATION DE LA MÉCANIQUE DE LA RUPTURE
AUX STRUCTURES DE L'INGÉNIEUR

par D. Robert Hay et Jacques Masounave

Le contrôle de la rupture joue un rôle de plus en plus important dans les structures conçues par l'ingénieur. Il existe maintenant des procédures théoriques quantitatives qui permettent de concevoir les structures en fonction de leur résistance à la rupture, et ainsi en augmenter le facteur de sécurité.

16 LE CHARBON — SOLUTION À LA CRISE
D'ÉNERGIE

par Vladimir Hucka, ing., Ph.D.

La crise énergétique qui a affecté gravement l'économie mondiale n'est pas encore terminée. L'article traite des perspectives de consommation d'énergie, à l'échelle mondiale, ainsi que du problème d'assurer les sources supplémentaires d'énergie. Le charbon, comme source d'énergie, est actuellement prêt à parer, en quantité suffisante, à la pénurie. L'utilisation du charbon, que ce soit pour alimenter les stations électrothermiques ou encore pour en extraire des carburants liquides peut aider à surmonter la crise d'énergie jusqu'au moment où l'énergie nucléaire, solaire ou thermique seront disponibles.

3 MESSAGE aux lecteurs de la revue L'Ingénieur

par René Dufour, ing., président
Comité administratif de la revue

RUBRIQUES

22 LE MOIS : Chroniques mensuelles

27 REVUE DE L'ANNÉE 1974

28 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

PHOTO COUVERTURE

Lorsqu'on décèle une fracture dans une vieille structure (1917) telle que montrée sur la couverture, l'analyse et la réparation exigent des considérations macroscopiques et microscopiques de la mécanique de la rupture. Les petites photos montrent une fissure détectée et la caractérisation globale de son comportement mécanique par jauges de contrainte, de même que la détermination du mode de rupture par la métallographie.

Concilier dans un gratte-ciel le confort et un budget limité ?



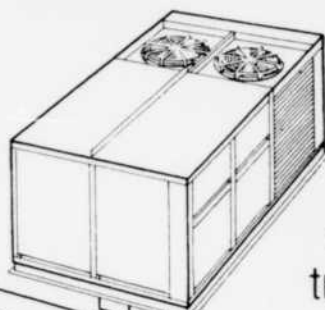
C'est facile lorsqu'on connaît le système Modu-Pac de Carrier.

Il réunit un climatiseur 50DD placé sur le toit et un terminal Moduline* à l'intérieur de l'édifice. Cet ensemble préparé à l'usine réduit le coût de la réalisation technique et assure au client le refroidissement de l'air le plus efficace possible, dans tout édifice.

Les réglages de l'installation centrale font partie de l'appareil à zone unique, placé sur le toit. De fait, cet appareil comprend tout ce dont il a besoin. Il a été entièrement monté et vérifié à l'usine afin que vous puissiez vous y fier.

Il alimente parfaitement le système Moduline de climatisation à volume variable Carrier.

Unique en son genre, ce système permet d'enficher des réglages dans tout terminal suspendu



Moduline, ce qui élimine les transformations coûteuses. De plus, ce système épargne l'énergie en ne refroidissant

les pièces qu'au besoin. Demandez au représentant Carrier de vous renseigner sur le système Modu-Pac. Nos appareils pour les toits existent en capacités de 18 à 45 tonnes. Dès le départ, ce système à volume variable est économique. Carrier Air Conditioning (Canada) Ltd., 8100 Dixie Rd., Bramalea, Ontario.



* Brevet déposé aux États-Unis

Chers amis,

Nous sommes déjà rendus à la fin de 1974. Avec vous, et après bien d'autres, je répète : comme le temps passe vite !

L'année 1974 nous a contraints à faire face à une pénible réalité : la situation financière difficile de la revue L'INGÉNIEUR. Les tendances inflationnistes depuis quelques années affectent sérieusement sa stabilité. Ce fut, en premier lieu, l'augmentation des frais d'expédition décrétés par le Ministère des Postes, suivie de hausses répétées des coûts du papier, de l'impression et des frais généraux.

L'Association des Diplômés de Polytechnique comble le déficit annuel de notre périodique depuis déjà plusieurs années. Les montants investis dans la publication de L'INGÉNIEUR deviennent imposants et très lourds à supporter. En vue d'alléger ce fardeau imposé à l'A.D.P., plusieurs gestes ont été posés. Entre autres, au mois d'août dernier, nous avons demandé une cotisation volontaire à tous les ingénieurs et organismes bénéficiant du service de la revue. Cette initiative ayant rapporté un résultat très satisfaisant, les administrateurs désirent remercier chacun pour ce témoignage de confiance. Les commentaires objectifs qui nous sont parvenus, à cette occasion, aideront à mieux servir nos abonnés. Outre cette décision, deux autres mesures entreront en vigueur à compter du 1er janvier 1975, soit l'augmentation des tarifs publicitaires et la publication bimestrielle de L'INGÉNIEUR.

Il semble inutile de démontrer l'importance du rôle de L'INGÉNIEUR dans notre société technologique. En dépit des difficultés actuelles, les membres des comités administratif et consultatif de rédaction sont unanimes à poursuivre les buts déjà définis, qui tendent à offrir à nos lecteurs une publication de haute valeur.

Je profite de l'occasion pour remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la publication de L'INGÉNIEUR par une participation, soit à l'administration, à la rédaction, à la publicité, ainsi que par un appui moral et financier. À titre de président du comité administratif de la revue, je me devais de présenter la situation actuelle, et de souhaiter que les dispositions préventives susmentionnées permettent un allègement à brève échéance.

*Que l'année 1975 apporte au monde entier, par la contribution de chaque pays et de chaque individu, un équilibre tant souhaité.
À tous, bonne et heureuse année.*

Comité administratif de la revue
Le président,



Monsieur René Dufour, ing., Poly '54
Professeur titulaire
Département Génie Minéral
École Polytechnique de Montréal

APPLICATION DE LA MÉCANIQUE DE LA RUPTURE AUX STRUCTURES DE L'INGÉNIEUR

par D. Robert Hay et Jacques Masounave

Notices biographiques :

M. D. Robert Hay est professeur invité au Département de Génie Métallurgique de l'École Polytechnique de Montréal. Il a obtenu un baccalauréat en génie métallurgique de l'Université McGill en 1961, une maîtrise en génie physique et sciences des matériaux de l'Université Cornell en 1964 et un doctorat de cette même institution en 1966. Depuis ce temps, il a été professeur à l'Université Drexel à Philadelphie jusqu'à ses débuts à l'École Polytechnique en octobre 1972.

Les intérêts de M. Hay dans la recherche comprennent des études du comportement mécanique des matériaux, de l'évaluation de l'intégrité des grandes structures, de la thermodynamique et du soudage à l'explosif.

M. Jacques Masounave a obtenu une licence ès sciences en physique, un diplôme d'études approfondies en chimie-physique et un doctorat de 3^e cycle en chimie-physique, tous de l'Université de Paris.

M. Masounave a travaillé pendant trois ans au Commissariat de l'Énergie Atomique (France) sur l'irradiation aux particules de fission des métaux lourds, puis deux ans à l'Université de Sherbrooke à titre de chargé d'enseignement au Département de Physique. Il est actuellement candidat au doctorat au Département de Génie Métallurgique de l'École Polytechnique de Montréal.

Les intérêts techniques de M. Masounave comprennent les propriétés mécaniques des métaux microalliés, y compris la fatigue et la ténacité.

Introduction

Les progrès récents de la technologie ont permis d'améliorer sensiblement les propriétés mécaniques des aciers. D'un autre côté, les utilisateurs, désirant se servir plus complètement de ces propriétés, conçoivent des dessins d'ensemble en conséquence. Les ingénieurs sont donc naturellement amenés à porter leur attention sur, entre autres, la résistance à la rupture. Ces exigences de résistance à la fracture sont d'autant plus grandes que, au Canada, beaucoup de matériaux travaillent à basse température, et ont donc une tendance très marquée à la rupture fragile. Cette tendance est encore accentuée lorsque le matériau travaille sous de fortes charges ou lorsque l'on applique la charge rapidement. Ainsi, en plus des critères classiques qui guident le

dessin des pièces, tels que résistance et déflexion maximales, il devient nécessaire d'ajouter des critères particuliers de résistance à la fracture. Le choix d'un matériau structural est aidé par un grand nombre de données portant sur l'énergie absorbée pendant le choc et sur les températures de transition à la rupture fragile-ductile. Récemment, particulièrement pour des systèmes à haute fiabilité, on a développé la « mécanique linéaire élastique de la rupture » qui donne quelques renseignements quantitatifs, utiles dans le dessin des pièces résistant à la fracture. On peut, en plus des précautions données par la mécanique de la rupture, augmenter la sécurité d'une structure en augmentant le degré de redondance du design. Nous voulons, dans cette revue, donner les idées générales, aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif, qui permettront de construire des structures résistant à la fracture.

Il n'existe pas, dans la rupture par fracture, une seule procédure qui puisse satisfaire à toutes les exigences. Les procédures utilisées dépendent beaucoup des matériaux utilisés et de l'utilisation de ces matériaux. Nous examinons ici quelques-unes de ces procédures.

Principes généraux

L'analyse de la résistance des matériaux à la fracture demande la connaissance des défauts des matériaux, contrairement à la mécanique des solides où le matériau est considéré comme parfait. Les défauts étudiés sont surtout les fissures ou toutes discontinuités du matériau qui concentrent les champs de force. La stabilité de ces défauts, lorsque l'on applique une charge, détermine la résistance à la fracture du matériau. Dans ces fissures on peut inclure : fissure de fatigue, défauts de surface, entailles aiguës, vides, inclusions et tout autre défaut de même taille et de même configuration géométrique. L'objectif de l'analyse quantitative de la fracture est de déterminer sous quel niveau de contrainte une fissure va se propager, et de décrire les tendances naturelles du matériau à propager ou à arrêter les fissures. L'analyse complète réclame donc une bonne connaissance du matériau fissuré et du type de fissure. La prévention

des fractures devient ainsi la responsabilité du dessinateur de la pièce ainsi que des ingénieurs qui choisissent les matériaux à utiliser.

La propriété du matériau qui décrit le mieux la résistance à la fracture est la ténacité (toughness) ou toutes mesures de cette propriété : la résilience (fracture toughness). La ténacité est la résistance à la fracture par choc. On peut étudier quelques cas simples et donner une bonne description de la ténacité en fonction de la géométrie des fissures et de la pièce. Dans les cas plus complexes, on donne une description graphique basée sur des expériences de laboratoires et des expériences en service de la pièce étudiée. La mécanique de la fracture donne une approche analytique dans les cas simples et, dans les cas plus complexes, une structure théorique pour la présentation, par des tableaux et des graphiques, des données de design pour la résistance à la rupture.

Les trois types de fracture

Comme toutes les disciplines scientifiques, la mécanique de la fracture désire être générale ; donc, englobe tous les aspects de la fracture et décrit les différents comportements des matériaux sous différentes sollicitations. On reconnaît ainsi trois types de fractures qui sont essentiellement basés sur la possibilité de concentration des contraintes par la fissure ou tout autre défaut du matériau qui se conduit comme une fissure vis-à-vis de la fracture. Cette concentration de contrainte se produit au sommet de la fracture et dans les régions adjacentes. La différenciation de la fracture en trois types est basée sur une étude comparative du comportement du matériau à accommoder une contrainte au sommet de la fissure et dans les régions adjacentes, en tenant compte du fait que loin de la fissure, la contrainte appliquée doit être égale à la contrainte nominale.

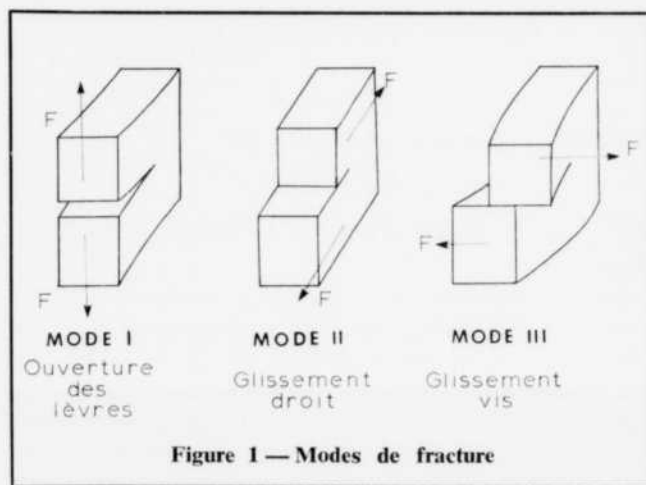
Dans les matériaux fragiles, la rupture se propage dans un matériau qui est encore dans le domaine élastique (au sommet de la fissure et par conséquent dans le reste du matériau) et la fracture est appelée élastique-élastique. C'est le cas de la rupture en conditions de déformations planes. On appelle ce cas de rupture le type I de fracture. Dans le type II de rupture, il y a une zone de déformation plastique à la pointe de la fissure tandis que le reste du matériau demeure élastique : c'est la fracture élastique-plastique. Enfin, dans le type III l'ensemble de la pièce se déforme plastiquement avant que la fissure ne se propage dans l'échantillon. Ce type est appelé plastique-plastique, souvent abrégé par le terme : fracture plastique.

L'analyse et le dessin des pièces dans chacun de ces différents types seront différents. Dans le cas, par exemple, de la rupture par déformation plane (type D), on peut appliquer la mécanique linéaire et élastique de la fracture qui permet de calculer la concentration de contraintes en tête de la fissure. Cette mécanique linéaire et élastique de la fracture devient inapplicable lorsqu'il y a une déformation plastique et, dans ce cas, les règles qui nous permettent d'établir de nouveaux critères pour éviter la fracture sont essentiellement basées sur l'expérience et le laboratoire. Cependant, même dans le cas de déformations plastiques, la mé-

canique linéaire et élastique de la rupture peut nous donner un cadre pour recueillir et interpréter certaines données expérimentales.

Les trois modes de fracture

Nous venons de voir qu'il existe trois types de fracture en fonction de la taille de la zone plastique qui se trouve au sommet de la fissure par rapport aux dimensions de l'échantillon. Maintenant nous allons voir qu'il existe trois façons d'obtenir les déformations en fonction des différentes manières d'appliquer la contrainte. Dans le mode I (Cf. figure 1) appelé mode par ouverture des lèvres, les surfaces de la fissure se déplacent perpendiculairement l'une de l'autre. Les deux autres modes sont des modes de cisaillement. Dans le mode II (glissement droit) les surfaces se déplacent dans le même plan et dans une direction perpendiculaire au front de la fissure. Dans le mode III (glissement vis) les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction parallèle au front de la fissure.



Le paramètre K_{Ic}

Nous calculons d'abord le paramètre K_{Ic} comme mesure de la ténacité, en nous plaçant dans les hypothèses de Griffith.

En 1924, Griffith donnait les bases de la mécanique linéaire de rupture en calculant la contrainte nécessaire à la propagation d'une fissure elliptique dans un milieu élastique infini. La figure 2 représente une telle fissure soumise à une contrainte uniforme biaxiale.

L'énergie interne d'un tel système est

$$U = U_0 + U_E + U_S \quad (1)$$

où U_0 est l'énergie interne du solide avant la formation de la fissure,

U_E est la variation d'énergie élastique causée par la fissure,

U_S est l'énergie nécessaire pour créer deux nouvelles surfaces.

La variation d'énergie élastique est donnée par

$$U_E = \frac{\pi \sigma^2 C^2}{E} \quad (2)$$

avec C la longueur de la fissure et E module de Young.

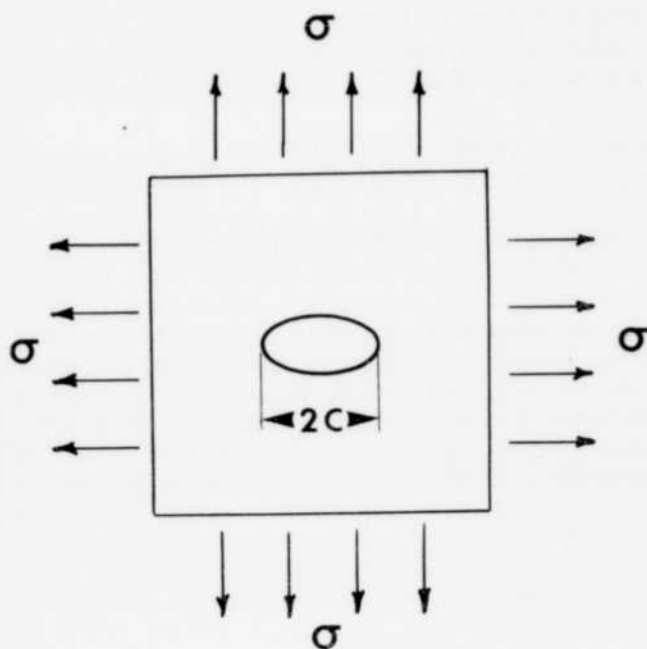


Figure 2 — Fissure elliptique de Griffith

L'énergie de surface est donnée par

$$U_s = 4C\gamma_s \quad (3)$$

où γ_s est la densité d'énergie de surface. On obtient donc

$$U = U_0 - \frac{\pi\sigma^2 C^2}{E} + 4C\gamma_s \quad (4)$$

La représentation de cette équation est donnée à la figure 3.

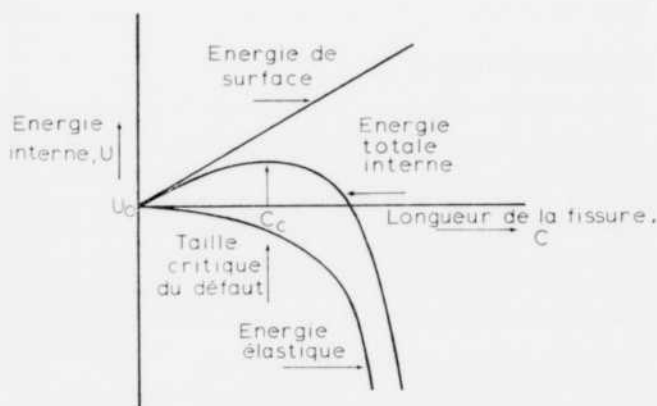


Figure 3 — Calcul de la taille critique d'une fissure

La condition d'équilibre instable est donnée par la condition

$$\frac{\delta U}{\delta C} = 0 \quad \text{c'est-à-dire} \quad \sigma^2\pi c \geq 2E\gamma_s \quad (5)$$

Si la fissure n'a pas la forme géométrique de la fissure elliptique choisie par Griffith, le champ des contraintes autour du sommet de la fissure ne sera pas le même,

mais conservera la même forme algébrique. On sait, par exemple, que l'intensité de ce champ de contrainte est une fonction du rayon de courbure du bout de la fissure. On multiplie donc l'équation (5) par un facteur Q qui tient compte des variations de géométrie de la fissure.

$$Q\sigma^2\pi c \geq 2E\gamma_s \quad (6)$$

Le tableau I montre quelques valeurs de Q pour différentes géométries. Pour les besoins pratiques, seules les variables situées dans le membre de gauche de l'équation présentent un certain intérêt. On pose donc

$$K_1^2 = Q\sigma^2\pi C \quad (7)$$

où K_1 s'appelle le facteur d'intensité de la contrainte en déformation plane.

TABLEAU I
FACTEUR Q POUR LA TENSION

Nature de la fissure	Q
Fissure au centre d'une plaque infinie	1.0
Fissure au centre d'une plaque de largeur W	$\sec \frac{\pi a}{W}$
Trou circulaire de rayon C dans une plaque infinie soumise à une contrainte σ normale au plan de la fissure	$\frac{4}{\pi^2}$
Fissure de surface longue et peu profonde	1.2

Dans un matériau réel, l'énergie au sommet de la fissure peut se dissiper de multiples façons, dont l'une est l'énergie de surface γ_s nécessaire à la formation de deux nouvelles surfaces. Une autre part importante de l'énergie est perdue, même dans les matériaux réputés fragiles, dans la formation de la zone écrouie en tête de la fissure. Même lorsque cette zone écrouie est faible, l'énergie emmagasinée dans ce volume est souvent plus grande que l'énergie perdue à la formation de nouvelles surfaces. Si la déformation est encore élastique-élastique, c'est-à-dire si la fissure se propage en état de déformation plane (on néglige la zone plastique en tête de fissure par rapport aux dimensions de l'éprouvette), on peut considérer que cette énergie dépensée en déformation plastique est un facteur correctif de l'équation (6)

$$Q\sigma^2\pi C \geq 2E(\gamma_s + \text{termes correctifs}) \quad (8)$$

Dans les termes correctifs on englobe toutes les formes de dissipation d'énergie. Actuellement, l'évaluation de ces termes correctifs présente parfois un gros problème. Cependant, pour les besoins courants de l'ingénieur, il suffit de savoir que le terme de droite peut être exprimé en fonction des propriétés intrinsèques du matériau.

Il y aura rupture rapide lorsque les conditions d'instabilité seront atteintes, c'est-à-dire lorsque le facteur K atteindra une valeur critique

$$K_{1c} = 2E(\gamma_s + \text{termes correctifs}) \quad (9)$$

Soulignons le fait que cette étude ne s'applique rigoureusement qu'aux conditions de déformations planes, dans le cas du mode I de déformation. L'indice I est utilisé pour rappeler ces conditions. L'indice c marque la valeur que K doit atteindre pour qu'il y ait rupture brutale.

En combinant les équations (8) et (9), on obtient

$$Q\sigma^2\pi C \geq K_{Ic}^2 \quad (10)$$

On peut obtenir de cette équation la contrainte critique σ_F que l'on doit appliquer pour qu'il y ait fracture.

$$Q\sigma_F^2\pi C = K_{Ic}^2 \quad (11)$$

On peut obtenir, en fonction de la contrainte appliquée, la longueur critique C_c de fissure qui amorcera la rupture brutale

$$Q\sigma^2\pi C_c = K_{Ic}^2 \quad (12)$$

Ainsi le paramètre K_{Ic} utilisé dans les équations (11) et (12) appelé facteur critique d'intensité de la contrainte donne une valeur de la résilience. Rappelons que la résilience est une mesure de la ténacité.

Signification de la fracture en déformation plane

Dans la plupart des matériaux fragiles il y a quand même une déformation plastique au sommet de la fissure. Quand la taille de cette zone plastique est petite par rapport aux dimensions de l'éprouvette, la fracture aura une forte tendance à être fragile. Dans ce cas, il faut peu d'énergie pour amorcer la fissure. La taille de cette zone plastique est

$$R \propto \left(\frac{K_I}{\sigma_Y} \right)^2 \quad (13)$$

où R représente le rayon de cette zone plastique, que l'on suppose être un cylindre, le rayon R, situé au sommet de la fissure.

Ainsi, une augmentation de la limite élastique σ_Y , une diminution de la contrainte appliquée, donc de K_I , sont autant de facteurs qui réduiront la taille de la zone plastique ; en conséquence, favoriseront une rupture fragile. De la même manière, d'autres facteurs métallurgiques influenceront la taille de la zone plastique tels que la consolidation et la taille du grain.

On peut aussi réduire la taille de la zone plastique en augmentant le taux de triaxialité des contraintes qui lui sont appliquées. La zone plastique au sommet de la fissure est confinée dans une matrice élastique. Quand la matrice élastique dans laquelle la zone plastique se trouve est assez résistante à cause, par exemple, d'une épaisseur suffisante du matériau, une contrainte existe dans la direction de l'épaisseur créant un état de contrainte triaxiale.

Si maintenant on exerce une force de traction sur l'éprouvette, la zone plastique tend à s'allonger, comme le reste de l'échantillon, dans le sens de la traction. Il doit donc y avoir une contraction latérale qui compense l'augmentation de volume causée par cet allongement. Cependant, la matrice élastique tend à s'opposer à cette contraction. Cette contrainte transversale

limite la déformation dans la direction de l'épaisseur et engendre ainsi un état de déformation plane. Les contraintes qui s'exercent sur la zone plastique en condition de déformation plane diminuent alors la taille de la zone plastique et favorisent ainsi une rupture fragile. Si la taille de la zone plastique R est supérieure à l'épaisseur B de l'échantillon, cette contraction transversale sera possible, et la déformation ne sera plus plane. On se trouve donc en état de contrainte plane. Il y a par conséquent une transition du comportement, fragile ou ductile, en fonction de l'épaisseur. La résilience d'un matériau mesurée en condition de déformation plane (grande épaisseur) sera ainsi plus faible que dans les autres conditions de contraintes (mixte et plane en épaisseurs moins grandes).

Afin de caractériser les propriétés en fracture d'un acier, l'ASTM donne des recommandations afin de déterminer K_{Ic} . La détermination de K_{Ic} ne dépend pas de l'épaisseur de l'éprouvette, dès l'instant où celle-ci est suffisamment grande pour que l'on se trouve en condition de déformation plane. La recommandation de l'ASTM exige donc que l'épaisseur de l'échantillon soit très grande par rapport à la taille de la zone plastique.

$$B \geq 25 R$$

où

$$B = 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y} \right)^2 \quad (14)$$

Pour se placer en condition de déformation plane, on peut aussi, comme le propose l'ASTM, se servir du rapport σ_Y/E . Le tableau donne les valeurs minimales de l'épaisseur pour se placer en condition de déformation plane. On choisit la plus petite des deux valeurs obtenues par l'équation (14) ou par le tableau II.

TABLEAU II
ÉPAISSEUR MINIMALE DU MATÉRIAU
POUR
MESURER K_{Ic} CORRECTEMENT

σ_{ys}/E	Épaisseur minimale	
	po	mm
0.0050 à 0.0057	3	75
0.0057 à 0.0062	2½	63
0.0062 à 0.0065	2	50
0.0065 à 0.0068	1¾	44
0.0068 à 0.0071	1½	38
0.0071 à 0.0075	1¼	32
0.0075 à 0.0080	1	25
0.0080 à 0.0085	¾	20
0.0085 à 0.0100	½	12½
0.0100 ou plus grand	¼	6½

Insistons sur le fait que K_{Ic} représente une propriété intrinsèque du matériau, qui ne dépend pas de la géométrie de l'éprouvette utilisée, dès l'instant que l'épaisseur de l'éprouvette est suffisamment grande

pour négliger les phénomènes de déformations plastiques au sommet de la fissure et ainsi rester en condition de déformation plane.

Pour obtenir ces conditions avec les aciers à haute limite élastique, l'épaisseur de l'échantillon sera faible, quelques fractions de pouce, tandis que pour les métaux moins résistants, cette épaisseur devrait être de plusieurs pouces. Il est souvent difficile, pour les métaux peu résistants, de se placer dans des conditions de déformation plane. La mécanique linéaire et élastique de la fracture s'appliquera d'autant mieux que le matériau sera fragile. C'est une importante limitation.

Le tableau III donne les valeurs de K_{Ic} pour les métaux usuels.

TABEAU III
VALEUR DU FACTEUR CRITIQUE D'INTENSITÉ
DE LA CONTRAINTE K_{Ic}
POUR DIFFÉRENTS MÉTAUX

MÉTAL	K_{Ic}	
	MNm ^{-1.5}	Ksi-in ^{1/2}
Acier : 4340	54	49
D6AC	52	47
Maraging 250	80-100	73-91
Maraging 300	68	62
Aluminium : 2024-T3511	46	42
7075-T651	27	25
Titane : 6 Al 4V	50-60	45-55
(β)	60-65	55-59
(α + β)	40-45	36-41
6 Al 6V-2Sn (β forgé)	35-40	32-36
(recuit)	35-50	32-45

Référence

P.F. Packman : *Non-Destructive Testing*, December 1973, pp. 314-324.

Effets de température et de vitesse de mise en charge

C'est un fait connu que la résilience dépend de la vitesse de mise en charge de l'essai. Plus la vitesse est grande, plus la possibilité de déformation plastique diminue et plus la zone plastique est petite. Ainsi, en augmentant la vitesse, on augmente la limite élastique, on diminue la taille de la zone plastique en tête de la fissure et on tend donc à se placer dans des conditions de ruptures fragiles.

La température a le même effet que la vitesse de mise en charge. Lorsque la température augmente, la plasticité est favorisée, la zone plastique en tête de la fissure devient plus grande, et le métal devient plus ductile.

Notons que beaucoup d'aciers présentent une transition ductile-fragile d'autant plus marquée que la température diminue. Cette transition est encore plus nette si l'entaille ou le défaut servant d'amorce à la fissure est aiguë. Plusieurs propriétés peuvent être uti-

lisées pour définir cette transition ductile-fragile. Toutes ces propriétés présentent une transition à différentes températures. Nous donnons ici cinq différents types de température de transition.

1) Température de ductilité nulle

C'est la température en dessous de laquelle le matériau casse, sous l'effet d'un choc, de façon fragile, sans qu'il présente de zone plastique importante.

En pratique (figure 4), on pose l'échantillon à ses deux extrémités, sur deux supports, et la charge est appliquée au milieu de l'échantillon. Il existe deux grands types de machine qui correspondent à deux façons d'appliquer la charge. Dans les premières, un poids tombe sur l'échantillon ; dans les secondes, la masse est fixée au bout d'un pendule oscillant. En général, on initie la fissure sur la face opposée à celle qui subit le choc par fragilisation du matériau à l'endroit désiré. La machine, utilisant l'énergie d'une masse qui tombe, présente parfois quelques modifications. On place deux butées sous l'échantillon pour limiter la déformation et on fragilise le métal à l'aide d'un cordon de soudure sur la face opposée à celle du choc.

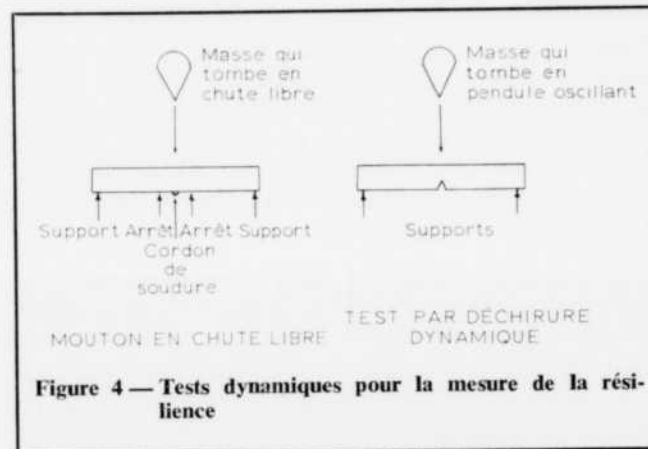


Figure 4 — Tests dynamiques pour la mesure de la résilience

Dans ces tests, la plus haute température, à laquelle l'échantillon se rompt avec une petite déformation permise, est définie comme la température de ductilité nulle. Une récente adaptation de ce test est proposée avec la déchirure dynamique (« Dynamic Tear »). On utilise un pendule pour de petits échantillons et la masse tombante pour de grands échantillons. On peut alors instrumenter la machine pour mesurer l'énergie absorbée par l'échantillon, et tracer la courbe reliant la force et le déplacement lors de la rupture. On utilise une soudure au titane au sommet de l'entaille pour fragiliser le matériau. On utilise aussi un couteau pour créer une grande concentration de contrainte à la tête de cette entaille.

La température de ductilité nulle est située entre les basses températures de rupture lorsque la fissure se propage dans les conditions de déformations planes et les hautes températures où la déformation plastique à la pointe de la fissure peut être importante. Ainsi, ce test, relativement aisé à mettre en œuvre, nous donne la gamme de températures où l'on peut utiliser la mécanique linéaire de fracture élastique.

2) Température de transition de l'apparence de la fracture

C'est la température où la surface de la fracture présente 50% de fracture ductile et 50% de fracture fragile. Ces deux types de fractures ont des apparences très différentes traduisant des mécanismes microscopiques de propagation différents.

La rupture fragile, ou clivage, correspond à des ruptures le long de plans cristallographiques bien définis ou le long des joints de grains. La rupture est, dans ce cas, plate, lisse et brillante avec un relief de facettes. Si la fracture est ductile, la surface de rupture est fibreuse, terne et irrégulière.

3) Température de transition élastique

Elle marque la transition entre deux mécanismes de propagation de la fissure. En dessous de cette température, la fracture est initiée dans une zone plastique, mais se propage dans la matrice élastique. Au-dessus de cette température la fracture est encore initiée dans une région plastique, mais ne se propage pas dans une région élastique ; elle reste dans la région plastique.

La température de transition élastique est donc la plus haute température possible pour obtenir une fracture instable, c'est-à-dire fragile.

4) Température de transition plastique

À cette température, la contrainte de rupture atteint sa valeur maximale. Au-dessus de cette température la surface de rupture présente uniquement l'aspect de déchirement ductile. On ne peut plus parler de surface de rupture.

5) Température d'arrêt de la fissure

En dessous de cette température, la fracture est fragile et, par conséquent, se propage très vite. Au-dessus de cette température la fracture est ductile et donc beaucoup plus lente. Au passage de ces deux modes de propagation, il y a une variation brutale de la vitesse de propagation. La courbe de température d'arrêt de la fissure sépare le diagramme contrainte appliquée-température en deux régions : aux basses températures, la rupture est fragile, aux plus hautes températures, la rupture est ductile.

La figure 5 nous montre un moyen rapide pour déterminer cette température. On place l'échantillon dans un gradient de température. La fissure est initiée du côté des basses températures et se propage ainsi rapidement. On mesure ensuite la température où la fissure ralentit fortement pour se propager ductilement. On peut aussi briser des éprouvettes à différentes températures.

La figure 6 nous montre une courbe d'arrêt de la fissure. Les températures sont mesurées à partir de la température de ductilité nulle. La température de transition élastique correspond à la limite élastique et la température de transition plastique à la contrainte ultime.

Détermination pratique = essai Charpy

Les tests expérimentaux qui déterminent les températures définies ci-dessus doivent être conduits dans des

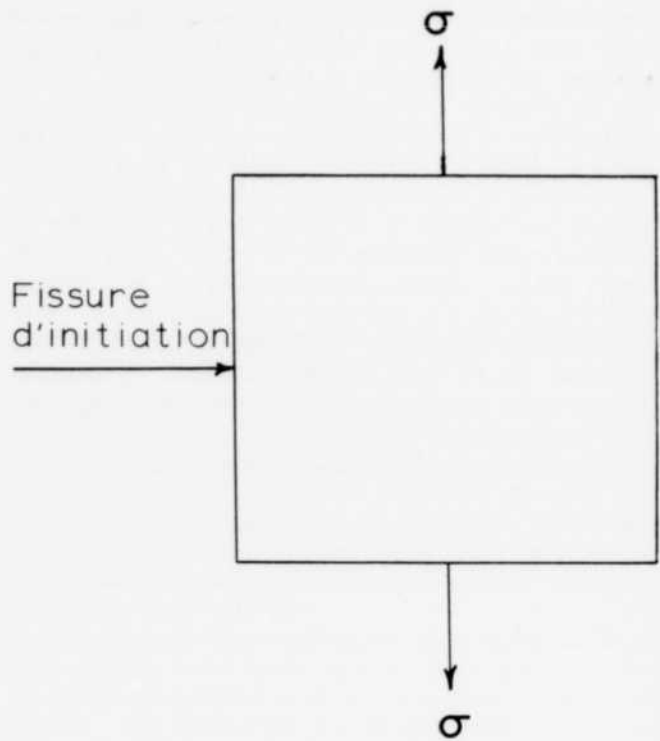


Figure 5 — Test d'arrêt de la fissure

conditions les plus pessimistes possible. On doit donc utiliser des entailles d'amorces les plus aiguës et des mises en charge par choc, c'est-à-dire les plus rapides possible. Ainsi, la zone plastique en tête de la fissure sera petite, la fracture fragile, et l'énergie absorbée pour propager la fracture sera minimale. Pour réaliser ces conditions, on initie la fracture avec des fissures naturelles obtenues par fatigue, par exemple, et on impose la charge par choc, ce qui entraîne un haut taux de déformation et donc une augmentation locale de la limite élastique.

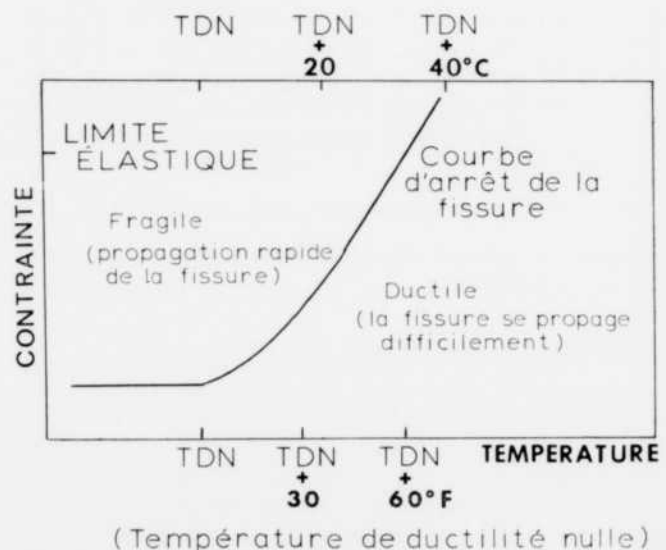


Figure 6 — Courbe d'arrêt de la fissure

Un des tests les plus simples est probablement l'essai Charpy à entaille en V. La figure 7 montre un échantillon utilisé dans cet essai. L'entaille est obtenue

avec une machine outil, et la charge est appliquée à l'aide d'un pendule. On obtient, dans ce test, l'énergie absorbée par le spécimen, la morphologie de la cassure (% de fragilité) et la contraction latérale au sommet de l'entaille. L'essai Charpy est très utilisé car il est facile à mettre en œuvre et fournit les trois données mentionnées en fonction de la température. Une courbe typique est montrée à la figure 8. On détermine la température de transition par la valeur de la température lorsque l'énergie absorbée (Cv) est de 15 lb-pi. Cette température permet une bonne comparaison entre les différents matériaux. Remarquons néanmoins que la valeur de 15 lb-pi n'a pas la même signification pour tous les matériaux. Aussi, utilise-t-on assez souvent la température à laquelle 50% de la surface de fracture est fragile. On doit par conséquent calibrer ce test pour les différents aciers (en tenant compte de l'épaisseur, du rayon de l'entaille, etc.). Un unique critère serait inutilisable dans les applications pratiques lorsqu'on emploie une très large gamme d'acier.

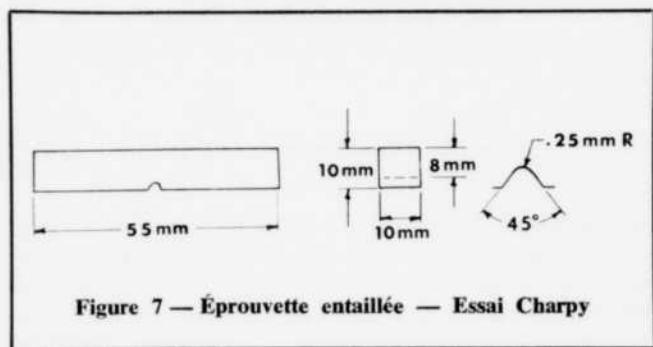


Figure 7 — Éprouvette entaillée — Essai Charpy

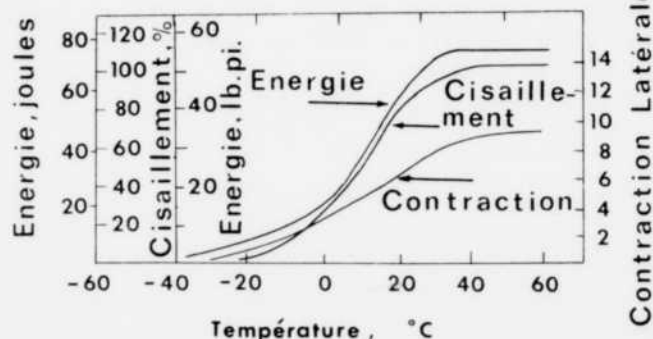


Figure 8 — Courbes de transition typiques obtenues par essais Charpy

Diagramme d'analyse des fractures

Ce diagramme intègre les notions de dimensions des défauts, de contraintes et de température. Il a été tracé pour les aciers de construction. Il utilise les mêmes coordonnées (σ -T) que celles montrées à la figure 6. Les ordonnées sont normalisées par rapport à la limite élastique σ_y et les températures, ainsi que nous l'avons déjà vu, sont notées à partir de la température de ductilité nulle. En dessous de cette température, le diagramme comprend toute une région où s'applique la mécanique linéaire de rupture élastique et au-dessus de cette température se trouve la courbe de température d'arrêt de la fissure. Les données qui ont permis d'obte-

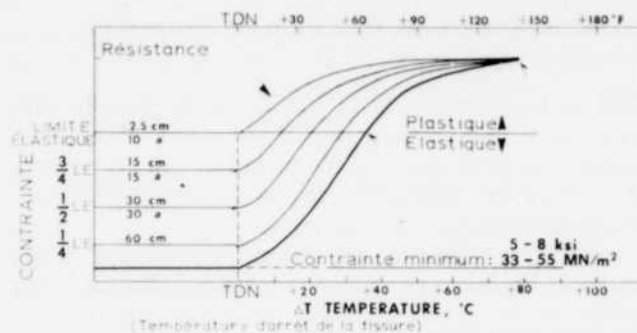


Figure 9 — Diagramme d'analyse des fractures pour les plaques minces

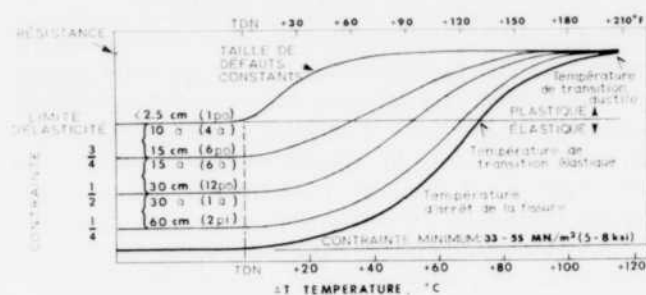


Figure 10 — Diagramme d'analyse des fractures pour les plaques épaisses

nir ce diagramme sont obtenues de la littérature sur les conditions de fracture des aciers de construction (tests expérimentaux et expériences pratiques). On voit, figure 9, un exemple d'un tel diagramme d'analyse des fractures ; la figure 10 montre le même diagramme, pour les aciers de grande épaisseur, mais en tenant compte des effets de l'épaisseur. La seule chose dont on ait besoin pour se servir du diagramme d'analyse des fractures avec un matériau donné est la température de ductilité nulle. Ensuite, on peut déterminer, à l'aide du diagramme, chaque température de transition par rapport à la température de ductilité nulle. On peut donc obtenir, en fonction de la contrainte appliquée, la taille critique des défauts, la taille critique des fissures qui engendreront une propagation rapide de la fissure.

Ce diagramme est limité aux aciers de construction qui présentent une transition ductile-fragile assez marquée. Il ne peut s'appliquer aux autres aciers et autres matériaux, qui ont besoin d'une faible énergie pour propager la fissure.

Remarquons, enfin, que les pièces travaillant dans la région plastique offrent le maximum de protection contre la propagation des fissures car elles peuvent accepter des fissures de plus grandes tailles sans qu'elles se propagent et sans produire une grande augmentation de la déformation plastique.

Transition de résistance

L'énergie nécessaire pour obtenir la rupture diminue lorsque la limite élastique augmente. Dans ce cas, nous l'avons vu, la taille de la zone plastique diminue et la rupture est fragile. Nous obtenons le même effet si la température de l'essai diminue.

Inversement, si la température de l'essai est supérieure à une valeur critique, que nous avons appelée température de transition plastique, la fracture est entièrement ductile, et l'énergie nécessaire est maximale. Si la température augmente au-dessus de cette valeur, il n'y a pas d'augmentation de l'énergie absorbée, les courbes énergie-température atteignent une limite appelée « énergie Charpy au plateau » ou « énergie de déchirure ». La résilience est donc maximale dans cette gamme de température. La déviation de résilience en fonction de la température (ou de la vitesse de déformation) est plus faible pour les aciers à hautes limites élastiques, et la température de transition tend à disparaître quand la limite élastique est très élevée (figure 11).

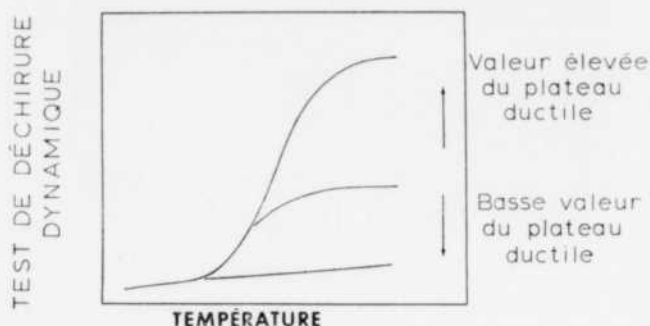


Figure 11 — Transition de résistance

Si l'énergie de déchirure dynamique et la limite élastique de tous les alliages ferreux disponibles en 1962 et 1968 étaient mises sur le graphique de la figure 12, tous les points tomberaient sous les enveloppes (lignes brisées) tracées sur ce graphique. La transition entre les métaux à haute énergie emmagasinée et les métaux à faible énergie est appelée la transition de résistance. La fissure montre les améliorations apportées, de 1962 à 1968, sur la limite élastique et la résilience des matériaux.

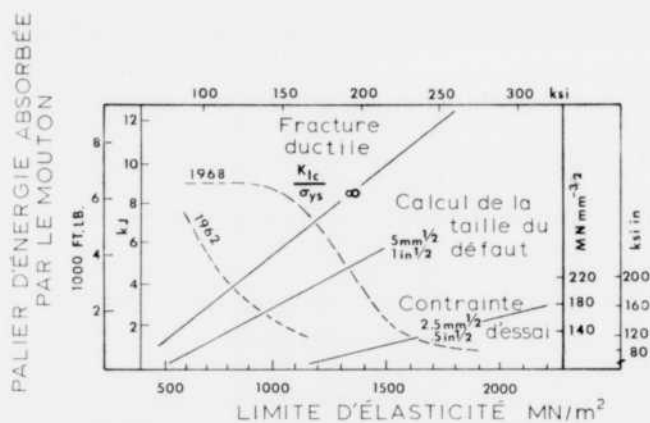


Figure 12 — Diagramme d'analyse par rapport

Le diagramme d'analyse par rapport

La limite élastique est un facteur intrinsèque important qui influe sur la ténacité des matériaux. On a vu que plus la limite élastique est élevée, plus la

fracture est fragile et l'énergie nécessaire à la fracture faible.

Le facteur critique d'intensité de la contrainte en déformation plane K_{Ic} caractérise aussi la ténacité à la rupture. Nous avons vu que les conditions de déformations planes sont les plus défavorables du point de vue de la ténacité, puisqu'elles correspondent à la rupture fragile. Mais, hors de ces conditions de déformations, la valeur de K_c est supérieure à K_{Ic} et le matériau possède, dans ce cas-là, une bonne ténacité. Il peut, dans ce cas, rompre avant que la contrainte ait atteint la limite élastique.

Chacun de ces deux paramètres est donc insuffisant, pris séparément, puisque le matériau peut rompre avant que ces valeurs σ_Y et K_{Ic} soient atteintes.

On considère généralement le rapport $\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y}$. Ce rapport complète utilement les informations que nous possédons sur la fracture.

Ce rapport divise le diagramme de la figure 12 en trois régions. Nous avons rajouté sur ce diagramme un axe gradué en fonction de K_{Ic} . La première zone est réservée aux matériaux très fragiles dont le rapport $\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y}$ est inférieur à 0.5. L'utilisation des matériaux inclus dans cette région demande quelques précautions. En effet, de petits défauts tels que microfissures et inclusions peuvent être suffisants pour amorcer une fracture catastrophique. Souvent ces défauts sont difficilement détectables avec les essais non-destructifs usuels. Il est donc nécessaire de procéder à un contre-essai (proof test) afin d'être sûr que ces matériaux sont exempts de défauts dangereux.

Dans la région intermédiaire $0.5 < \frac{K_{Ic}}{\sigma_Y} < \infty$, une épaisseur adéquate permet d'obtenir les conditions de déformation plane et d'initier des ruptures catastrophiques. Si l'épaisseur est insuffisante pour assurer les conditions de déformations planes, on ne peut appliquer la mécanique linéaire de la fracture, et on doit tenir compte des conditions élastiques-plastiques de propagation dont nous avons déjà parlé.

Au-dessus de cette valeur, $\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y} > \infty$, la rupture survient uniquement par fracture ductile. La rupture provient de la réduction de la section du matériau.

Applications de la mécanique de la rupture

Nous n'avons donné ici que les grandes lignes de la mécanique de la rupture, sans entrer dans le détail de chaque application particulière. Ainsi on peut définir un coefficient K_{ID} pour les fractures dynamiques, un coefficient K_{ISCC} pour les fractures avec corrosion ; en fatigue on calcule $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ correspondant aux valeurs extrêmes prises par le coefficient d'intensité de la contrainte.

La mécanique de la rupture peut donc rendre de nombreux services et aider l'ingénieur dans la prévention des catastrophes.

Résumé et conclusion

Nous avons exposé les grandes lignes directrices qui peuvent guider l'ingénieur, actuellement, dans la prévention des ruptures. Ces idées ont été souvent mises en pratique et nous possédons beaucoup de données expérimentales qui viennent étayer les données théoriques et leur donner, de plus, certaines limites.

Les approches théoriques que nous avons décrites peuvent être des outils très puissants dans la compréhension des phénomènes et dans la prévention des ruptures. ■

BIBLIOGRAPHIE

Fracture : Aspect général

A.S. TETELMAN and A.S. McEVILY, « *Fracture of Structural Materials* », Wiley, New York, 1967.

E.R. PARKER, « *Brittle Behavior of Engineering Structures* », Wiley, New York, 1957.

E.A. LANGE, « *The Cost of Fracture Control* », Machine Design, septembre 7, 1972, pp. 105-110.

Mécanique de la rupture

C.C. OSGOOD, « *A Basic Course in Fracture Mechanics* », Machine Design, juillet 22, 1971, pp. 58-64 ; août 5, 1971, pp. 88-93 ; août 19, 1971, pp. 102-106 ; septembre 2, 1971, pp. 91-95 et septembre 16, 1971, pp. 154-160.

W.S. PELLINI, « *Evolution of Engineering Principles for Fracture Safe Design of Steel Structures* », NRL Report 6957, septembre 23, 1969, Naval Research Laboratory, Washington, D.C.

W.S. PELLINI, « *Advances in Fracture Toughness Characterization Procedures and in Quantitative Interpretations to Fracture Safe Design for Structural Steels* », NRL Report 6713, avril 3, 1968, Naval Research Laboratory, Washington, D.C.

E.A. LANGE, « *Fracture Toughness of Structural Metals* », NRL Report 7046, mai 4, 1970, Naval Research Laboratory, Washington, D.C.

Applications

W.S. PELLINI, « *Design Options for Selection of Fracture Control Procedures in the Modernization of Codes, Rules and Standards* », Proc. Joint U.S. — Japan Symp. on Appl. of Pressure Component Codes, Tokyo, Japan, mars 13-15, 1973.

W.S. PELLINI, « *Analytical Design Procedures for Metals of Elastic-Plastic and Plastic Fracture Properties* », Proc. Joint U.S. Japan Symp. on Appl. of Pressure Component Codes, Tokyo, Japan, mars 13-15, 1973.

UNION COLLEGE TECHNICAL INSTITUTE MANUAL « *Fracture Mechanics and its Application to Engineering Design* », Union College, Schenectady, N.Y., 1973.

LEHIGH UNIVERSITY MANUAL, « *Application of Fracture Mechanics to Engineering Design Problems* », Lehigh University, Bethlehem, Pa., novembre 1972.

BOUTHILLETTE & PARIZEAU

INGÉNIEURS-CONSEILS
Mécanique - Électricité

9825, rue VERVILLE

Montréal 357 — 387-3747

Lalonde, Girouard, Letendre & Associés

Ingénieurs-conseils

8790, avenue du Parc — Tél. 384-6410

MONTRÉAL 354, QUÉ.



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

INGÉNIERIE, TRAVAUX PUBLICS, MUNICIPAUX,
MARITIMES, HYDRO-ÉLECTRIQUES,
TRANSPORT D'ÉNERGIE,
ÉTUDES TECHNICO-ÉCONOMIQUES
ET GÉRANCE DE PROJETS

615, RUE BELMONT, MONTRÉAL H3B 2L9

RACEY, Mac CALLUM & BLUTEAU LTÉE

INGÉNIEURS-CONSEILS

Propriétaire-exploitant

Études géotechniques — Contrôle du dynamitage
Contrôle de la qualité des matériaux et de la fabrication
Investigations civile, mécanique et électrique

8205, BOUL. MONTRÉAL-TORONTO
MONTRÉAL 263, QUÉ.

TÉL. :
489-4941

EN BREF

CORPORATION DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE Agrandissement de l'école

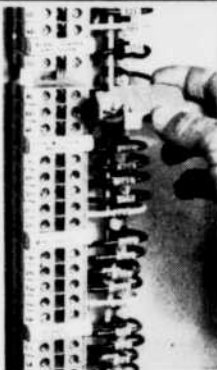


Le 13 novembre 1974 avait lieu, à l'École Polytechnique, la signature du contrat avec la société B.G.L. Construction Ltée en vue des travaux d'agrandissement de l'École. Assis, de gauche à droite, M. J. Bernard Laviguer '41, président de la Corporation de l'École Polytechnique et M. Jean-Paul Tessier '47, président de B.G.L. Debout, dans le même ordre, M. Denis Lamarre, architecte, du bureau Jodoin, Lamarre et Pratte, M. Claude B. Richer '61, vice-président de B.G.L., M. Roger P. Langlois '46, directeur de l'École Polytechnique et M. Pierre F. Beaudry '20, fondateur de la société B.G.L.

UN CHOIX UNIQUE

PLAQUES À BORNES MODULAIRES STAFFEL

La ligne complète Electrovert va des bornes électriques standards aux plaques à haute tension, aux bornes d'essai et aux circuits électroniques miniatures. Il s'agit d'un choix unique. Ce sont



des produits de qualité que l'on peut installer rapidement et facilement. On peut les installer sur des rails de montage standards et selon des exigences spécifiques. Dans le monde de l'électronique et de l'électricité, les produits Electrovert sont en tête.



ELECTROVERT LTÉE.

3285, BOULEVARD CAVENDISH, MONTREAL, QUE. H4B 2L9
HALIFAX • OTTAWA • TORONTO • EDMONTON • VANCOUVER



CENTRE DE RECHERCHES
POUR LE DÉVELOPPEMENT
INTERNATIONAL

Bourses de recherche ou de formation pour professionnels

Le Centre de recherches pour le développement international offre pour 1975-76 dix bourses de formation, de recherche ou d'étude à des professionnels canadiens ayant dix ans d'expérience dans leur domaine.

La bourse

Traitement jusqu'à	\$17,500
Frais de voyages aller-retour, au lieu de la recherche pour le candidat et sa famille	variable
Frais de voyages du candidat durant sa bourse jusqu'à	\$ 1,000
Frais de recherche jusqu'à	\$ 2,000
Frais de scolarité	variable

Le candidat

- 1- Le professionnel sans expérience des pays en voie de développement qui désire consacrer une année à étudier, faire des recherches ou réaliser d'autres travaux scientifiques en développement international avant d'orienter sa carrière dans cette voie.
- 2- Le professionnel déjà engagé dans le développement international qui désire se perfectionner ou poursuivre des recherches.

Tout candidat doit être citoyen canadien ou immigrant reçu ayant trois années de résidence au Canada. Il doit avoir 35 ans et environ dix ans d'expérience professionnelle.

Les domaines de recherche ou de formation

Les domaines d'intérêt, bien que non restreints, peuvent comprendre: l'agriculture, les sciences de la nutrition et de l'alimentation, l'information et les communications, la population et la santé, la dynamique rurale-urbaine, les sciences sociales, le transfert de la technologie, l'éducation, le génie, etc.

Durée de la bourse

Une année seulement.

Validité de la bourse

Jusqu'à la fin de décembre 1975.

La demande

On peut se procurer une formule de demande de bourse au Centre. La formule doit parvenir avant le 28 février à:

Bourse d'associé de recherche
Division des sciences sociales et ressources humaines
Centre de recherches pour le développement international
Casier postal 8500
Ottawa, Ontario, Canada
K1G 3H9
Les résultats sont communiqués aux intéressés le 1er mai 1975.

Le Centre de recherches pour le développement international a été créé par une loi du Parlement canadien en 1970. Le Centre offre aussi des bourses de recherches ou de formation pour les professionnels des pays en voie de développement, pour candidats au doctorat et des bourses de voyage et de recherche en développement international.

Enfin! L'isolant hautes

Il supporte jusqu'à Thermo-12 et c'est

L'ancienne norme était de 1200°F. Vous la trouviez insuffisante. Nous avons répondu à vos demandes...avec Thermo-12. Cet isolant supporte jusqu'à 1500°. C'est celui que vous attendiez.

Une grande différence. Le Thermo-12 est fait d'hydrosilicate de calcium et renforcé non pas de la manière ordinaire, mais par un mélange de fibres de verre et de fibres organiques.

Insensible à l'eau. Le nouveau Thermo-12° peut être mouillé de nombreuses fois sans que sa conductibilité en soit affectée. Il est idéal pour les installations au-dessus du sol aussi bien qu'en-dessous.

s températures sans problèmes.

1500° f, il s'appelle une exclusivité J-M.

Incombustible. Le Thermo-12 ne pouvant ni brûler ni propager le feu, vous pouvez le spécifier pour usage en présence de gaz et de liquides inflammables.

Une résistance exceptionnelle. Étant semblable dans sa composition à un béton à agrégats très fins, le Thermo-12 peut supporter des usages extrêmement rudes sans dommages appréciables.

Thermo-12...votre nouvel isolant sans problèmes. Spécifiez-le.



Johns-Manville

Nos idées
à votre
service.

LE CHARBON — SOLUTION À LA CRISE D'ÉNERGIE

par Vladimir Hucka, ing., Ph.D.

Notice biographique :

M. Vladimir Hucka, ing., Ph.D., travailla pendant de nombreuses années pour des compagnies minières de charbon en Europe, de même que pour des instituts de recherche minière. Depuis 1968, il est professeur agrégé au Département des Mines et Métallurgie de l'Université Laval, où il dirige présentement un groupe en recherche minière. M. Hucka est également conseiller technique pour la compagnie Gaspé Copper Mines à Murdochville (Québec).

Introduction

Depuis quelques années, le charbon comme source d'énergie a été dépassé par le pétrole. On avait admis que le charbon ne continuerait à fournir de l'énergie que pour l'industrie métallurgique et chimique. La plupart des gouvernements des pays industrialisés ont vécu sous l'emprise du tout-puissant pétrole, oubliant dans leur programme énergétique la question de son accessibilité. Ces gouvernements ont pris à la légère les avertissements des spécialistes dans le domaine du charbon, pensant que ces avis étaient dictés par des intérêts égoïstes ou basés sur des informations fausses.

Cependant, le bilan énergétique des pays fortement développés avait clairement indiqué qu'il y aurait pénurie de pétrole et que ce dernier ne pourrait être remplacé que par l'énergie nucléaire ou par le charbon.

La situation présente ne serait pas tellement grave si les pays fortement industrialisés avaient revu, avec toutes les alternatives possibles, les approvisionnements en pétrole dont les réserves, en général, ne sont pas sous leur contrôle.

Le pétrole comme source d'énergie

La principale source d'énergie, et le plus grand concurrent du charbon, est le groupe des hydrocarbures

naturels fluides, pétrole et gaz, dont la participation à l'échelle mondiale, quasi négligeable en 1900, a atteint pour la première fois en 1970 et même légèrement dépassé en potentiel calorifique celle du charbon (figure 1). Devant cette évolution, particulièrement marquée en Europe Occidentale, le public a tôt fait de considérer la houille comme une matière première désuète, d'importance négligeable et dont l'abandon devrait être pour demain¹.

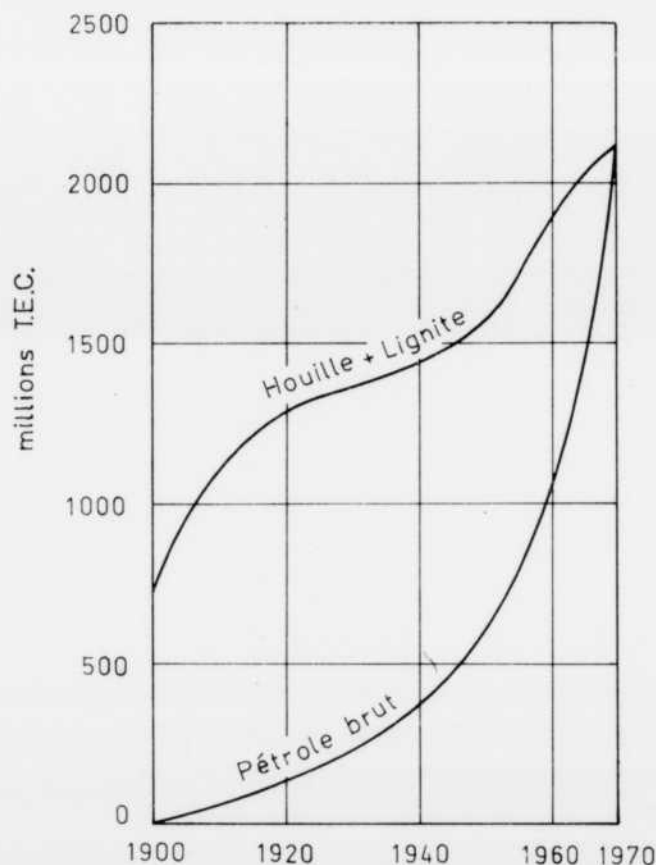


Figure 1 — Production mondiale du charbon et du pétrole (d'après BRISON).

Le Canada a heureusement des réserves de pétrole en quantité suffisante. L'exploitation prochaine des sables pétrolifères de l'Athabasca (province de l'Alberta) contribuera évidemment à combler les besoins en pétrole dans les prochaines années (la production canadienne actuelle est de 2 millions de barils par jour).

Environ 25% des réserves mondiales sont concentrées au Moyen-Orient et approvisionnent près de 43% du monde libre. Présentement, le pétrole arabe est devenu une arme de lutte politique. La dépendance des pays industrialisés vis-à-vis du pétrole est la principale préoccupation de leurs gouvernements. Aussi, ces gouvernements sont maintenant plus disposés à diriger leur attention sur des sources énergétiques supplémentaires. Les moyens précaires acceptés dans ces pays avaient pour but d'enrayer les conséquences négatives de la pénurie du pétrole causée par l'embargo arabe. Évidemment, l'attention principale a été portée sur une étude des perspectives de la consommation de l'énergie dans l'avenir.

Le charbon comme source d'énergie

Il y a plusieurs siècles, le charbon était déjà connu dans certaines parties de la Chine. En effet, BRISON¹ cite que Marco Polo lui-même, au début du XIII^e siècle, avait indiqué que, dans la province de Cathay, on brûlait une sorte de pierre noire qui flambait comme une bûche et gardait mieux le feu.

En Europe, jusqu'à la fin du XVII^e siècle, le charbon servait uniquement au chauffage. Ce n'est que dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle qu'il a trouvé une première utilisation industrielle, soit dans la production de la vapeur et pour l'alimentation des feux des grandes forges. Après le début de la fabrication du gaz d'éclairage par distillation de houilles grasses, on peut croire que l'industrie s'était rapidement développée, et ceci grâce au développement de l'utilisation du charbon.

D'après BRISON¹, le charbon (au sens large du terme, c'est-à-dire, houille et lignite), à l'échelle mondiale, en 1900, servait déjà à produire de la chaleur et de l'énergie. Cette production n'a cessé de croître, tant en valeur absolue qu'en valeur relative, pour atteindre son maximum de 88% vers 1910. Elle a diminué depuis, régulièrement, en valeur relative, jusqu'à près de 42% en 1970 (voir figure 2).

Le charbon demande certaines précautions pendant son extraction (exploitation), son transport et son entreposage ; ce qui se reflète dans l'augmentation des coûts de transformation du charbon en pétrole déjà considérables. De plus, PHELPS² cite que l'augmentation de la production de houille aux États-Unis est faible, due à la rareté des ingénieurs miniers disponibles pour travailler dans les charbonnages. Actuellement, d'après des sources sûres, l'extraction du charbon ne constitue pas une opération très profitable aux États-Unis.

Le « Coal Mine Health and Safety Act » de 1969 a provoqué la fermeture d'environ 1,500 mines, réduisant ainsi de beaucoup la production. La lutte contre la pollution qui s'est engagée depuis plusieurs années a spécialement visé l'extraction du charbon à ciel ouvert. Une loi, actuellement étudiée par le Congrès américain, risque d'interdire pareille exploitation sur les terres fédérales et notamment dans les états du

Wyoming, du Montana et de l'Idaho. Les mesures du « Clean Air Act », prévu pour 1975, menacent l'utilisation du charbon dans les centrales électriques.

D'un autre côté, les schistes bitumineux, par exemple, du Colorado, de l'Utah et du Wyoming, peuvent procurer des milliards de barils d'huile. On estime que l'on pourra produire de 20 à 30 gallons d'huile par tonne. Dès 1980, on peut espérer une production annuelle de 100 millions de barils⁵ à partir de la lignite. Les figures 3 et 4 montrent les systèmes d'exploitation et de distillation du charbon en carburants et en gaz. Le problème demeure à savoir ce qu'on fera des déchets dont le volume se chiffre à 80% de celui du charbon originel.

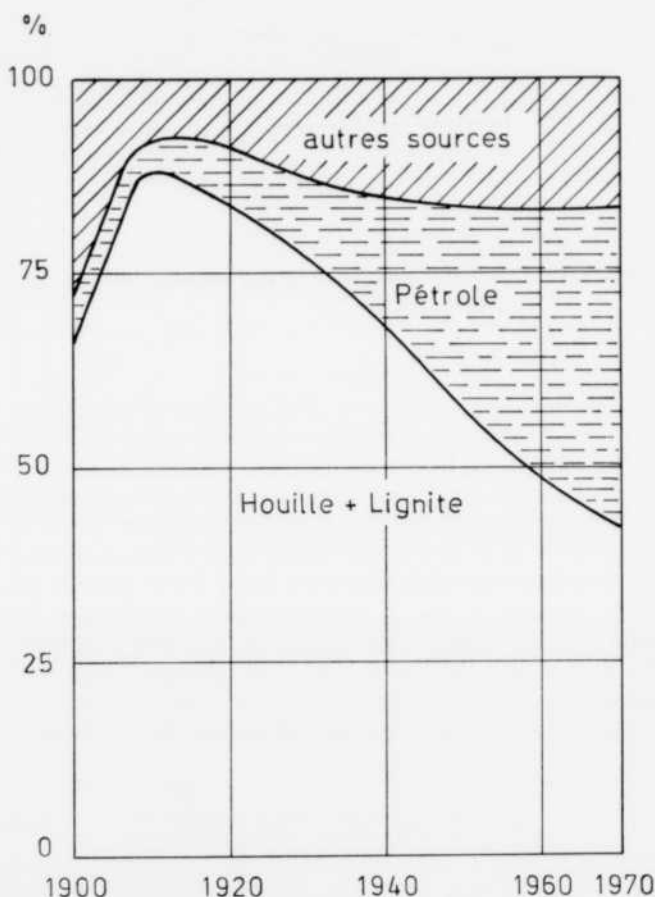


Figure 2 — Consommation mondiale relative du charbon et du pétrole (d'après BRISON).

Une telle activité minière aura des répercussions d'une haute portée sur l'environnement, et le programme d'assainissement du terrain sera très dispendieux.

Perspective de la consommation d'énergie

Pour assurer les livraisons de produits énergétiques, il faut faire un bilan particulier. Chaque bilan du combustible énergétique comporte les deux points suivants :

- l'estimation du niveau de la consommation ;
- l'estimation de la couverture de cette consommation à partir des sources possibles.

La consommation est régie par la croissance constante de la population et l'augmentation de la production industrielle. On peut dire, selon un principe

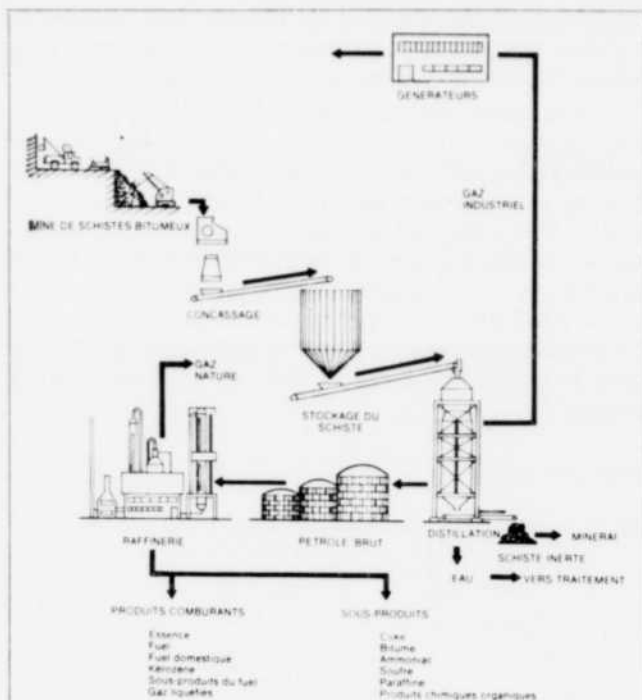


Figure 3 — Procédé d'exploitation des schistes bitumeux (d'après CEUZIN).

en vigueur, que l'énergie la plus coûteuse est celle qui manque ! SMOLKA³ mentionne la prospective du bilan des pays de la Communauté Européenne. Il estime, dans ce bilan, que l'accroissement de la consommation des sources primaires de combustible pour 1970 à 1980 sera de 6 à 8% par année et un accroissement de la production industrielle de 5.8 à 7.5% par année (voir tableau I, où la consommation spécifique est exprimée en tonnes équivalentes de charbon « TEC »). Il indique de plus qu'il faut tenir compte, dans les demandes totales d'énergie primaire, de la consommation du pétrole pour les raffineries, de la houille

pour la chimie et la métallurgie (coke) et des matières premières pour les autres besoins, même s'ils ne sont pas en relation avec l'industrie énergétique. Les différences entre la consommation pour l'énergie primaire et la consommation totale sont indiquées à la deuxième partie du tableau I. On peut en tirer deux conclusions de base :

- 1) Que dans les pays industriels, la consommation d'énergie augmente en moyenne de 7% par an, c'est-à-dire qu'elle double à tous les treize ans.
- 2) Que les plus grandes demandes et besoins portant sur les sources primaires d'énergie sont les conséquences du coût de transport des carburants et du traitement direct du combustible comme matériel brut. SMOLKA³ montre, au tableau II, les relations entre les sources d'énergie (section A) et celles de la consommation pour la production d'énergie primaire (section B). D'après le tableau II, on peut conclure que l'utilisation du charbon, autre que pour l'énergie primaire (électricité, chaleur, gaz), a augmenté pendant 15 ans dans la communauté européenne, de 8 à 30 millions de tonnes par année. Dans chaque cas, la participation des différentes sources d'énergie tient compte partiellement de la tendance du prix du combustible et de l'énergie développée. Le prix du charbon cokéifiable s'élève continuellement.

La production du Canada, des États-Unis et de l'Australie peut suffire à la consommation domestique et à l'exportation. En Europe, ce sont la Pologne et l'Union Soviétique qui ont des réserves suffisantes pour l'exportation aux pays occidentaux.

Exploitation du pétrole

L'augmentation du prix du charbon de 25 à 30%, en 1969, avait été accompagnée de l'augmentation du prix du pétrole. Cette hausse du prix du pétrole résulte de l'accroissement du coût de son exploitation, compte tenu des frais d'exploration de nouveaux gisements et

TABLEAU I
UTILISATION DES MATIÈRES ÉNERGÉTIQUES
COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE (SELON SMOLKA⁴)

ANNÉE	1950/54	1957	1966	1967	1968	1969	1970
a) Accroissement moyen de la production totale (%)	8.6	7	5.5	6	7.1	8.5	7.2
b) Accroissement de la production industrielle (%)	11.4	9.2	7.4	7.8	8.7	11.2	9.1
c) Consommation totale (millions de TEC)	341.6	430.8	641.1	670	725.1	786.6	831.2
d) Consommation pour l'énergie primaire (millions de TEC)	305.4	319.8	312.3	305.7	303.3	315.4	329.2
e) % de d/c	89.5	74.1	50.5	45.5	41.7	40.0	38.6
f) Consommation pour d'autres fins (transport, industries chimiques, etc.)	10.5	25.9	49.5	54.5	58.3	60	61.4

TABLEAU II

ÉVOLUTION (1954 à 1969) DANS L'UTILISATION DES DIVERSES SOURCES D'ÉNERGIE
COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE (SELON SMOLKA ¹)

ANNÉE	1954			1957			1967			1969		
	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)	A	B	B/A (%)
Charbon	264	259	97	298	272	91	234	207	88	235	199.4	85
Pétrole	24	5.5	23.7	54	12	22.2	245	21	8.3	305	20	6.5
Gaz naturel	4.3	2.5	58	7.6	7.5	98.5	31	39.7	97	54	56	98
Énergie nucléaire, Énergie hydraulique, Énergie solaire	33	31	94	30	30	100	42	38	90.5	43	40	93.5

NOTE :

A = Montant total de combustibles (et autres sources énergétiques) utilisé.

B = Montant de combustibles (et autres sources énergétiques) consommé pour de l'énergie primaire.

de transport du brut. De plus, très récemment, le prix du pétrole a été délibérément exagéré, notamment par les producteurs arabes qui se sont rendus compte de leur monopole pétrolier et qui en profitent. Les récentes augmentations de presque \$13 par baril ne seront pas les dernières, bien sûr. Les conséquences sur l'économie mondiale sont évidentes, les pays du tiers-monde notamment seront les plus touchés par la hausse des prix de tous les produits dont ils ont tant besoin. On peut facilement imaginer que les pays industriels vont remédier à cette situation.

Gas naturel

SMOLKA ³ donne comme exemple, pour un bilan énergétique, le processus de la consommation du gaz naturel de la Communauté européenne. Son utilisation comme source primaire d'énergie a grimpé de 58% à 98% en 15 ans. En 1969, on a utilisé les sources de gaz naturel des fonds de la Mer du Nord à raison de 56 millions de TEC (tonnes de charbon équivalentes) dont seulement 0.2 million de TEC pour des besoins non énergétiques. De plus, on a utilisé le gaz des cokeries.

Une autre source de gaz naturel est le grisou qui se produit dans certains bassins houillers. Pendant l'exploitation de la houille, ce gaz est relâché et peut être emmagasiné pour la consommation dans l'industrie. Par exemple, en Europe, dans un bassin de houille produisant environ 23 millions de tonnes de houille par année, on obtient environ 14 millions de pieds cubes (400,000 m³) de grisou par jour.

Le gaz naturel peut aussi être fabriqué par la combustion souterraine des couches carbonifères, c'est-à-dire par la gazéification souterraine du charbon ⁴. L'exemple d'un système de gazéification souterraine d'une couche de charbon est montré aux figures 5 et 6.

Combustibles nucléaires

Présentement, le coût du kWh produit par une centrale électro-nucléaire dépasse le coût du kWh d'une

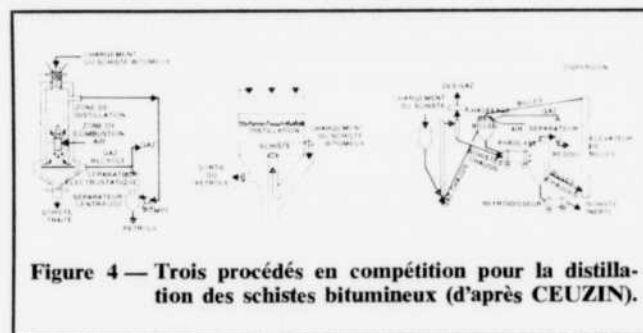


Figure 4 — Trois procédés en compétition pour la distillation des schistes bitumineux (d'après CEUZIN).

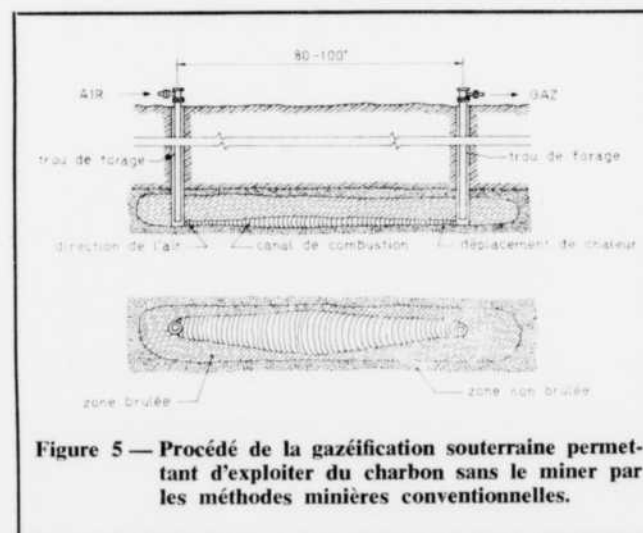


Figure 5 — Procédé de la gazéification souterraine permettant d'exploiter du charbon sans le miner par les méthodes minières conventionnelles.

centrale électrique conventionnelle. Cette situation sera bientôt changée à cause de l'augmentation du prix du pétrole. Par exemple, la Chine populaire s'intéresse à l'achat d'une centrale électronucléaire aux États-Unis.

Les réserves possibles de combustibles nucléaires dépassent d'environ 5 fois les réserves de combustibles possibles (presque 4 billions de TEC de charbon, à peu près 200 milliards de tonnes de pétrole et environ 200 milliards de mètres cubiques de gaz naturel).

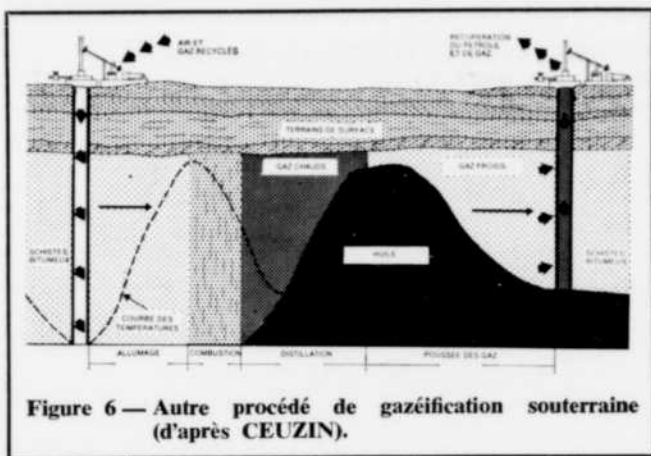


Figure 6 — Autre procédé de gazéification souterraine (d'après CEUZIN).

De toutes les analyses précédentes, on peut tirer quelques conclusions :

- Il faut exploiter tous les gisements houillers pour franchir la période critique, jusqu'à l'an 2,000, c'est-à-dire la période de l'accroissement exponentiel de la consommation d'énergie, en même temps que l'explosion de la population (figure 7). La politique des prix dans le domaine des combustibles est favorable, à long terme, au développement de l'industrie charbonnière.

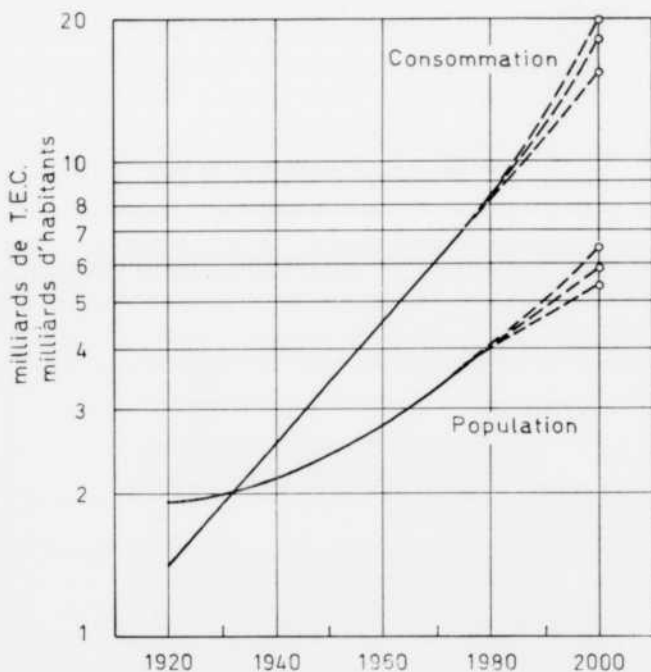


Figure 7 — Consommation d'énergie en relation avec l'accroissement de la population mondiale (d'après BRISON).

- En Amérique du Nord, les immenses réserves détenues par les États-Unis et le Canada semblent être la garantie d'un approvisionnement énergétique prolongé, dont l'importance pourrait être rapidement accrue. Ceci nécessite à la fois une mise en marche de la lutte contre la pollution et un certain nombre de progrès techniques. La production du charbon aux États-Unis a été d'environ 600 millions de tonnes en 1973, soit l'équivalent énergétique d'environ 7 millions de barils de pétrole par jour.

- Les estimations des réserves de charbon aux États-Unis sont de 150 milliards à 800 milliards de tonnes, soit, au rythme actuel, de 300 à 800 ans de consommation. La participation du charbon à la consommation d'énergie se situe aux environs de 18 à 20% aux États-Unis contre 75% pour le pétrole et le gaz naturel.

- En dépit des problèmes concernant la pollution et les problèmes liés à la dégradation du terrain, le charbon est la solution par intérim, dans l'attente de l'énergie nucléaire ou solaire pour résoudre la crise de l'énergie aux États-Unis.

- Il faudra commencer à faire des investissements pour la production du charbon au cours des prochaines années, afin qu'en 1985 elle couvre 50% des besoins énergétiques américains. Ceci nécessitera à cette date une production d'environ 1.5 milliard de tonnes, soit l'équivalent de 20 millions de barils de pétrole par jour. Pour ce faire, plusieurs étapes doivent être franchies : révision du « Clean Air Act » pour la lutte contre la pollution, ouverture de mines à ciel ouvert dans l'ouest, etc.

- Dans l'immédiat, on escompte que, si des mesures d'urgence sont adoptées, l'extraction du charbon pourra être poussée aux États-Unis de façon à compenser la perte des importations de pétrole en provenance des pays arabes dans un délai de trois ans (plus de \$200 millions de tonnes environ). Le Canada, avec ses richesses naturelles, parmi lesquelles le charbon n'est pas en dernière place, sera touché par cette tendance. Présentement, toute sa production est exportée. Pour l'avenir, il faudra préparer le programme d'utilisation du charbon non seulement pour la métallurgie mais aussi en vue de son apport au bilan énergétique canadien. L'accroissement de la production du charbon au Canada est seulement une question de temps. Les universités canadiennes doivent sans délai préparer les futurs ingénieurs à cette tâche. Il ne faudrait pas oublier que l'augmentation de la production charbonnière américaine exigera de grandes livraisons de fer (pour les boulons d'ancrage, les équipements de mine), de matières premières ammonitrates pour les explosifs, etc. Il semble naturel que toutes les matières brutes soient fournies par l'industrie canadienne avec toutes les prémices économiques qui en découleront pour le pays.

Conclusions

1. Les réserves de pétrole sont limitées et le prix de ce dernier est élevé. Le pétrole ne doit plus être brûlé pour chauffer les maisons ou les usines parce qu'il s'agit d'une matière première qui n'est pas facilement remplaçable pour l'industrie chimique. Dans le domaine du transport aérien, le pétrole ne pourra pas être remplacé dans un avenir prochain. Pour le transport maritime et terrestre, on doit utiliser des sources d'énergie supplémentaires, soit : trains électriques, électro-automobiles, moteurs à gaz naturel liquéfié, moteurs nucléaires, etc.

2. Les réserves de charbon sont disponibles pour combler le déficit d'énergie des années critiques. Les méthodes de liquéfaction du charbon sont bien con-

nues depuis la dernière guerre mondiale. On se souvient que toute la machine militaire d'Allemagne était alimentée par le pétrole fabriqué à partir du charbon. Les prix du charbon doivent être légèrement augmentés pour rendre son exploitation attrayante aux investissements. Au contraire, le prix des carburants fabriqués à partir du charbon doit être inférieur au prix des carburants classiques pour empêcher la détérioration des conditions du transport.

3. Les sources pour les grandes centrales électriques restent au domaine de l'énergie hydraulique et nucléaire. Les états qui ne sont pas choyés par la nature en ressources hydrauliques (comme le sont le Canada et le Québec, spécifiquement) doivent tourner leur attention vers l'énergie nucléaire et solaire. Les édifices, usines et maisons peuvent facilement être chauffés par l'électricité. De même, l'énergie produite par les sources géothermiques ne doit pas être négligée (par exemple, les geysers du Parc National Yellowstone aux États-Unis). Présentement, à Reykjavik, Islande, on utilise les vapeurs provenant des sources géothermiques pour chauffer les maisons.

4. Les moteurs à combustion doivent être remplacés par les moteurs électriques partout où cela est possible. Les automobiles peuvent être alimentées par des batteries standard interchangeables, de telle sorte que, dans les stations de charge, les unités d'accumulateurs soient simplement échangées sans attendre leur rechargement. À supposer que le réseau des stations de charge soit construit, le temps pris pour l'échange des batteries ne sera pas supérieur au temps consacré au remplissage des réservoirs par l'essence classique.

5. Une activité minière accrue, notamment dans le domaine de l'exploitation du charbon et des minerais de fer, exigera de nouveaux ingénieurs. Les universités devront prendre les mesures nécessaires pour faire face à cette exigence. ■

BIBLIOGRAPHIE

- BRISON, L. : « *Le charbon : passé, présent, avenir* », Annales des Mines de Belgique, septembre 1972, pp. 811-819.
- PHELPS, E.R. : « *Past, Present and Future of the Coal Industry* », Society of Mining Engineers of AIME, Preprint Number 68-K-360, 1968, pp.1-11.
- BRISON, L. : « *Le pétrole dans le monde d'aujourd'hui et de demain* », Extrait de Publications de l'Association des Ingénieurs de la Faculté Polytechnique de Mons, 3^e Fascicule, 1960, pp. 1-7.
- SMOLKA, J. : « *Recreation of Coal* », Czechoslovak Mining Journal « Uhli », Vol. XIX, July 1971, pp. 258-260.
- HUCKA, V., DAS, B. : « *In Situ Gasification of Coal: Solving the Energy Crisis* », Mining Engineering, AIME, Vol. 25, August 1973, pp. 49-50.
- CEUZIN, P. : « *Des mines de pétrole* », Sciences et Avenir, no 320, octobre 1973, pp. 928-934.
- HUCKA, V., DAS, B. : « *A Contribution to Coal Seams Degasification* » (préparé pour publication).

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

CLÉMENT VIGNEAULT, ING.
FERNAND DE SERRES, ING.

Trudeau, Gascon, Lalancette et Associés

Ingénieurs-Conseils

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



MON-TER-VAL INC.

Étude & contrôle des sols
Contrôle du béton et de l'asphalte

1470, RUE MAZURETTE, MONTRÉAL 355
TÉL. : 514 - 381-8041

COMPAGNIE NATIONALE DE FORAGE ET SONDAGE INC. (1937)

615, rue Belmont, Montréal 101

Spécialistes en Géotechnique



Sondages et forages ;
Essais en laboratoire ;
Rapports complets et
recommandations.

Tél. : 871-1117



QUÉFORMAT LTÉE

981 PIERRE-DUPUY
LONGUEUIL
QUÉBEC J4K 1A1
674-4901

SOL - BÉTON - ASPHALTE

FORAGES
ÉTUDES GÉOTECHNIQUES
ÉTUDES GÉOPHYSIQUES
CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

LE

MOIS

OFFRES D'EMPLOI

CARNET / EN BREF

OFFRES D'EMPLOI

— **ATLAS CONSTRUCTION LIMITÉE** (M. G. Dorais, directeur, relations industrielles) 255, rue Norman, Montréal, Québec H8R 1A3. Tél. : (514) 487-5350.

Cette entreprise est à la recherche de deux ingénieurs.

a) **Ingénieur civil** possédant un à trois ans d'expérience dans le domaine du béton précontraint.

Le candidat choisi agira comme ingénieur de chantier dans la région de Montréal. Il devra maîtriser le français et posséder des notions d'anglais.

b) **Ingénieur civil** avec études et/ou connaissances particulières des travaux souterrains et des travaux d'excavation.

Le candidat à ce poste devra maîtriser le français et posséder des notions d'anglais.

Note : Dans les deux cas, le salaire se situe aux environs de \$13,000.

— **CITÉ DE SAINT-JÉRÔME** (M. André Filion, directeur du personnel) 280, rue Labelle, Saint-Jérôme, Québec J7Z 5L1. Tél. : (514) 436-1511.

Cette municipalité, en pleine expansion, procède à une restructuration de ses services et recherche un candidat pour le poste suivant :

Directeur des services techniques (ingénieur)

Fonction :

Sous l'autorité du gérant municipal, le directeur est responsable de la conception et de la réalisation des projets d'extension des réseaux d'égouts, d'aqueduc et de voirie, et voit au bon fonctionnement des différentes divisions.

Exigences :

Le poste requiert les services d'un ingénieur dynamique, possédant des qualités d'administrateur et une expérience valable dans le domaine du génie municipal.

Avantages sociaux intéressants.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae dans les plus brefs délais aux soins de M. André Filion.

— **CONSOLIDATED-BATHURST LIMITÉE** (Mme C. Schneider) 800 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec. Tél. : (514) 875-2160.

Cette compagnie est à la recherche d'un ingénieur électricien, bilingue, possédant de 7 à 10 années d'expérience et une très bonne connaissance de l'électronique et de l'instrumentation pour diriger le service électrique servant à l'entretien et à la réparation à notre usine de Trois-Rivières.

Note : Les candidats sont priés d'adresser leur curriculum vitae à l'adresse mentionnée ci-dessus.

— **CAREY-CANADIAN MINES, LTD.** (M. Jean-Guy Légaré, ing., gérant de l'Ingénierie) East Broughton Station, Québec G0N 1H0. Tél. : (418) 426-3050.

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur bilingue, diplômé en génie mécanique ou civil, avec expérience pour occuper le poste de surintendant à la construction.

Le candidat aura à assumer la responsabilité de tous les travaux de construction, installations, modifications de la machinerie offerte à la production des fibres d'amiante et, de plus, aura à diriger un groupe de personnes. Salaire : à discuter.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae ou d'appeler M. Jean-Guy Légaré au numéro ci-haut mentionné.

— **COMMISSION SCOLAIRE RÉGIONALE DE L'ESTRIE** (M. Yves-Denis Girard, ing., directeur du service de l'équipement) 740 ouest, rue Galt, Sherbrooke, Québec J1H 1Z3. Tél. : (819) 565-3750.

Cette commission recherche un ingénieur diplômé en génie mécanique et/ou électrique pour le poste de coordonnateur des aménagements.

Fonction :

Sous l'autorité du directeur du service de l'équipement, le coordonnateur est responsable des opérations de construction, de transformation, de réparation et d'entretien des biens immobiliers et mobiliers. Il voit de plus à la coordination des plans et devis des projets de construction avec les professionnels retenus par la commission.

Exigences :

Le poste requiert les services d'un ingénieur possédant beaucoup d'initiative, un grand sens des responsabilités et un minimum de 5 années d'expérience pertinente dans l'exploitation de bâtiments modernes.

Conditions :

Bénéfices marginaux intéressants ; 4 semaines de vacances après une année.

Salaire : jusqu'à \$20,250.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae par courrier aux soins de M. Yves-Denis Girard, ing., avant le 1er janvier 1975.

— **JOHN LEWIS INDUSTRIES LTD.** (M. Raymond Cécyre, contrôleur) 10300, boulevard Ray-Lawson, Ville d'Anjou, Québec H1J 1M1. Tél. : (514) 352-2950.

Cette industrie manufacturière est à la recherche d'un ingénieur dont la responsabilité sera de : a) coordonner et planifier la production de quatre usines ; b) fournir l'aide technique ; c) suivre les projets de construction en cours ; etc.

Le candidat choisi sera bilingue, disposé à voyager, et aura l'avantage d'accéder au niveau de la gérance d'usine.

Note : Les candidats intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Cécyre.

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

— **GINGRAS, GILBERT & ASSOCIÉS INC.**, conseillers en administration (M. Jacques Bérubé, ing., M.B.A.) 150 est, rue St-Cyrille, suite 1870, Québec, Québec G1R 2B2. Tél. : (418) 647-1369.

Ingénieur Mécanique ou Civil

Une entreprise de Québec, spécialisée dans la gestion et l'opération d'usines de pompage et de filtration, recherche un ingénieur pour remplir les fonctions suivantes : a) préparation de soumissions ; b) surveillance et coordination de travaux ; c) conception de systèmes de pompage ; d) implantation de systèmes de contrôle et d'entretien préventif ; e) direction du personnel ; f) assistance à fournir au gérant de la compagnie dans ses tâches administratives.

Le candidat devra être membre de l'Ordre des Ingénieurs du Québec et posséder un minimum de trois (3) ans d'expérience dans un domaine connexe. Une expérience comme surintendant d'un département de maintenance serait un atout.

Le salaire et les autres bénéfices marginaux seront fonction des qualifications et de l'expérience du candidat.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae dans les plus brefs délais aux soins de M. Jacques Bérubé.

— **ROURKE, BOURBONNAIS & ASSOCIÉS** (M. Gilles Hébert, conseiller senior) 1808 ouest, rue Sherbrooke, Montréal, Québec H3H 1E5. Tél. : (514) 937-9525.

Directeur — Service du Génie (Traitement initial jusqu'à \$28,000)

Le poste est offert par une société réputée, laquelle fabrique des biens de consommation courante ; son usine est dotée de machinerie automatisée et à grands débits. Ce poste d'envergure est disponible à Montréal.

Le directeur du service du génie assumera le leadership dans la gestion d'une équipe de cadres compétents et de leurs 150 subalternes affectés au génie manufacturier, industriel et civil, et à des projets de conception et d'investissements de même qu'à l'entretien électro-mécanique.

Les candidats intéressés, possédant la compétence à diriger un service de génie dans l'industrie légère à procédés continus, tels l'alimentation, le textile, le tabac, sont invités à soumettre confidentiellement leur curriculum vitae à M. Gilles Hébert en mentionnant le dossier 398.

— **TECSULT INTERNATIONAL LIMITÉE** (M. Jacques Lefebvre, ing. — **ABBDEL**, ingénieurs-conseils) 4200 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H3Z 1V3.

La firme d'experts-conseils, Asselin, Benoît, Boucher, Ducharme, Lapointe Inc., est à la recherche d'ingénieurs seniors cadres pouvant s'intégrer au sein d'un groupe de travail spécialisé œuvrant présentement sur le projet des grands établissements postaux de Montréal.

Le projet, d'envergure et à la fine pointe de la technologie, requiert les services de personnel hautement qualifié pouvant travailler à partir d'objectifs définis et de contrainte de programme donné.

Le lieu de l'emploi est localisé au cœur même de Montréal, et les postes ci-dessous décrits sont présentement disponibles.

Les candidats seront préférablement bilingues et devront être membres de l'Ordre des Ingénieurs du Québec.

Toutes les demandes, faisant état de la formation, de l'expérience et du salaire actuel, seront traitées en confidentialité.

a) Ingénieur senior mécanique procédé

Ingénieur senior en mécanique possédant de 7 à 10 années d'expérience active et ayant œuvré au moins 5 années au sein de groupes de génie-conseil ou d'entreprises industrielles axées sur des procédés de transformation.

b) Ingénieur senior en contrôle des procédés

Ingénieur senior en électricité possédant de 10 à 15 années d'expérience active et ayant œuvré au moins 8 années au sein de groupes de génie-conseil ou d'entreprises industrielles de transformation.

Note : Les candidats sont priés de s'adresser à M. Jacques Lefebvre.

— **RÉGIS TRUDEAU & ASSOCIÉS**, ingénieurs-conseils (M. Jean-Claude Trudeau) 3440 est, rue Ontario, Montréal, Québec H1W 1P9. Tél. : (514) 872-3066.

Ce bureau d'études est à la recherche de plusieurs ingénieurs possédant quatre (4) années ou plus d'expérience en design de structures pour occuper divers postes, entre autres pour prendre la responsabilité de projets.

Note : Les candidats intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Jean-Claude Trudeau.

— **ULMIC INC.** (M. Normand Plante, directeur général) 6155, Transcanadienne, Saint-Laurent, Québec H4T 1A1. Tél. : (514) 748-6967.

Directeur général adjoint

Cette compagnie est une petite entreprise fournissant des pièces pour l'industrie de l'électronique sur tous les marchés de l'Amérique du Nord et du Sud. Cette société a démarré au Canada au début de 1974 et aura plus de 125 employés vers la fin de 1975.

L'ingénieur qui occupera ce poste se verra confier des responsabilités grandissantes, dont la direction de l'administration, de la comptabilité, des achats et du personnel et, en plus, la direction technique de l'usine.

Le candidat sera un ingénieur diplômé en mécanique, en électronique ou en métallurgie, ayant obtenu un M.B.A. ou ayant suivi des cours en vue de l'obtention de ce diplôme. Il possédera cinq (5) années ou plus d'expérience dans le domaine de l'industrie. Salaire : à discuter.

Note : Les intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Normand Plante.

COMMUNAUTÉ URBAINE DE MONTRÉAL

Bureau de Transport Métropolitain
(Division Construction)

INGÉNIEUR
(\$12,565 — \$19,822)

NATURE DE L'EMPLOI : Préparation et supervision du travail de plusieurs équipes d'arpentage de la section Lignes et niveaux chargée de fournir les données nécessaires à la préparation des plans, d'implanter les lignes de base et de vérifier les alignements des travaux de construction du Métro.

AVANTAGES SOCIAUX : Vacances, congés maladie, assurance-vie, fonds de pension.

ADMISSIBILITÉ AU CONCOURS : Être ingénieur et membre en règle de l'Ordre des Ingénieurs du Québec. **Expérience :** Posséder plusieurs années d'expérience en arpentage. Le nombre d'années d'expérience du postulant ainsi que la nature de cette expérience seront considérées. **Langues :** Parler et écrire le français et avoir une connaissance suffisante de la langue anglaise. **Divers :** qualités personnelles appropriées ; état physique satisfaisant.

DURÉE DE L'EMPLOI : Cet emploi est considéré comme permanent pour la durée des travaux pour lesquels le poste a été créé, c'est-à-dire pour une période pouvant varier entre quatre (4) et six (6) ans, si le travail de l'employé est jugé satisfaisant.

LISTE D'ÉLIGIBILITÉ : Les postulants qui pourront satisfaire aux conditions ci-dessus mentionnées auront leur nom inscrit sur une liste de personnes éligibles à cette fonction. La nomination au poste vacant se fera d'après la liste qui sera alors établie.

DEMANDE D'EMPLOI : Les personnes qui désirent participer à ce concours doivent s'inscrire en complétant la formule « demande d'emploi » au bureau du personnel de la Communauté Urbaine de Montréal — 3585, rue Berri, suite 190, Montréal H2L 4G3.

Téléphone : (514) 872-6929

CONCOURS NO : 74-1045

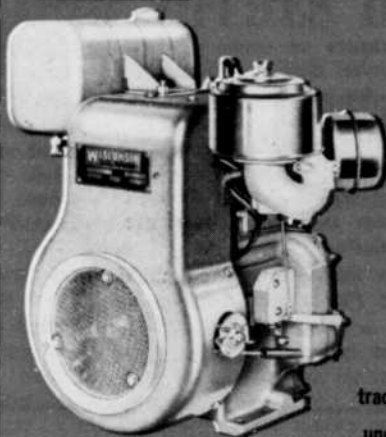
BUREAU DU PERSONNEL

WISCONSIN

"LES CHEVAUX, ÇA NOUS CONNAÎT!"



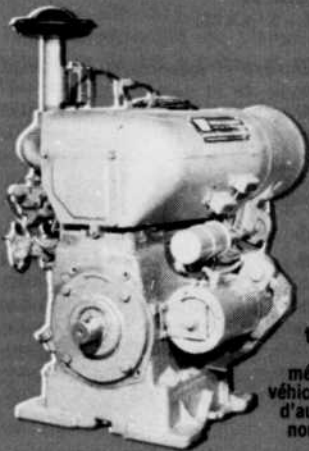
**LES MOTEURS
EN FONTE WISCONSIN
WORKHORSE DE
GRANDE PUISSANCE**



**LE MODELE S-16D,
MONOCYLINDRE
DE 16 HP A
3 600 T/MIN,
d'une cylindrée
de 37,7 po cu.**

Un moteur ultra-robuste, fiable et de rendement élevé, conçu pour la nouvelle génération de tracteurs à grande puissance, les grosses tondeuses et une foule d'usages dans tous les domaines de la construction et de l'industrie en général.

Un moteur qui satisfait toutes les exigences en fait de puissance en réserve, de couple élevé pour la traction de fortes charges, de fiabilité à long terme.



**LE MODELE
TRA-18D,
BICYLINDRE DE
18,2 HP
A 3 600 T/MIN,
d'une cylindrée
de 53,9 po cu.**

Un moteur équipé d'un nouveau dispositif de montage sur châssis qui assure une durabilité accrue aux installations sur les tracteurs, tondeuses, véhicules tout terrain, balais mécaniques, transporteurs et autres véhicules industriels. Adaptable à bien d'autres usages, il comporte aussi un nouveau système de refroidissement par ventilateur axial.

**DIVERS AUTRES MODÈLES DISPONIBLES
Demandez par écrit
LE BULLETIN WISCONSIN S-447**

CONENC

**Distribué par:
CONSOLIDATED ENGINES & MACHINERY CIE LTÉE**

8550, ch. Delmeade
Montréal, Qué. H4T 1L7
(514) 342-9233

Succursales
TORONTO — MONCTON — HALIFAX

— WOODS, GORDON & CIE, conseillers en administration, 630 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H3B 1T9. Tél.: (514) 875-5835.

Ingénieur d'usine (\$14,000 — \$16,000)

Une importante compagnie dans le domaine de l'alimentation recherche un ingénieur d'usine pour l'une de ses nombreuses usines de transformation située dans la région immédiate de Montréal.

Le titulaire relève directement du surintendant d'usine et s'occupe des activités reliées à l'entretien et au génie industriel. Ainsi, il sera responsable du développement de programmes d'entretien et d'améliorations possibles à l'équipement, etc.

Les candidats à ce poste doivent posséder un diplôme en génie mécanique ou en génie industriel avec une expérience pertinente de deux à quatre années.

Toutes les demandes, faisant état de l'âge, de la formation, de l'expérience et du salaire actuel, devront être faites par écrit et seront traitées confidentiellement. Référence: dossier no 9592.

ÉVÉNEMENTS À VENIR

**ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS
DE POLYTECHNIQUE**



ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ET DÎNER ANNUEL



M. Yvan HARDY, '51, président de l'Association des Diplômés de Polytechnique, invite tous les membres de l'Association à assister à l'assemblée générale et au dîner annuel de leur Association.

Date: Vendredi, 21 février 1975

Endroit: Hôtel Reine Elizabeth

Heure de l'assemblée: 15h

Heure du dîner: 19h30

(suite à la page 26)

Dites-le avec des photos

photographie aérienne
oblique et verticale
n. blanc, couleur, couleur infra-rouge



tél.: (514) 725-2403

6571, rue Marquette, Montréal, P.Q.

pour information: Georges Tinguely

CARNET

BALLIVY, Gérard, Poly '70 (M.Sc.A.) ingénieur en géotechnique au Laboratoire de Contrôle et Recherche de la Ville de Montréal, est maintenant responsable des études géologiques pour le bureau Lalonde, Girouard, Letendre et Associés, ingénieurs-conseils.

BECKER, Alex, McGill '58, professeur agrégé au département de Génie minéral de l'École Polytechnique de Montréal, a été nommé au poste de directeur de l'Institut de Recherche en Exploration Minérale (IREM — MERI).

Cet Institut, qui est parrainé conjointement par l'École Polytechnique et par l'Université McGill, est une société de recherche à but non lucratif et à vocation industrielle.

BÉDARD, Marcel, Poly '59, a été nommé au poste de Chef des Services pédagogiques de l'École Polytechnique de Montréal. M. Bédard était auparavant au Ministère des Communications du Québec — Service de la Recherche.

BOUCHER, André, Poly '55, qui était directeur général des eaux au Ministère des Richesses naturelles du Québec, est maintenant chargé des études hydrologiques et hydrauliques pour le bureau Lalonde, Girouard, Letendre et Associés, ingénieurs-conseils.

CHARTRAND, Jacques, Poly '61, a été nommé au conseil d'administration des Diplômés de l'Université de Montréal. M. Chartrand s'occupe d'élaboration de projets pour la firme Nicolet, Carrier, Dressel, ingénieurs-conseils.

DUFOUR, René, Poly '54, professeur titulaire de l'École Polytechnique de Montréal, vient d'être élu président de la section de Montréal de l'Institut canadien des Mines et de la Métallurgie (C.I.M.) pour l'année 1974-75. M. Dufour s'occupe des affaires de l'Institut depuis de nombreuses années. Entre autres activités, cette association offre à ses membres des soupers-causeries à intervalles réguliers sur des sujets techniques et financiers.

FARMER, Jacques, Poly '49, a été nommé membre de l'Office National de l'Énergie pour une période de sept ans. M. Farmer occupe le poste de vice-président — Planification à Gaz Métropolitain, Inc.

GÉRIN, Jacques, Poly '62, passe de la vice-présidence des programmes bilatéraux à la vice-présidence du Bureau des politiques de l'Agence canadienne de Développement international (ACDI). Le nouveau rôle du Bureau des politiques est de voir à la planification du programme global de l'Agence.

LEFEBVRE, Liguori M., Poly '61, président des Laboratoires Ville Marie Inc., a été désigné à la présidence nationale de l'Association Canadienne des Laboratoires d'Essais (Canadian Testing Association) lors de l'assemblée annuelle tenue récemment à Toronto. Cette association, formée en 1949, groupe les professionnels des sociétés canadiennes spécialisées dans les études, essais et contrôle qualitatif des matériaux.

MASSE, Yvon H., Poly '61, a été nommé récemment vice-président des services de gestion à la direction générale du Canadien National à Montréal.

Entré au CN en 1961, M. Masse a été affecté à la division de la recherche et du développement à la direction générale, puis il a passé deux années à Winnipeg avant de revenir aux services analytiques de la région du Saint-Laurent. Il a occupé la direction de ces services d'avril 1968 à septembre 1970. Il a par la suite occupé le poste de directeur des services administratifs et techniques de la région du Saint-Laurent avant de passer à la direction des ventes voyageurs.

NOVAK, Benno E., McGill '60, a été nommé récemment au poste d'administrateur de la firme Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc., ingénieurs et conseillers en planification. M. Novak cumulera cette charge avec celle de gérant des opérations qu'il assumait depuis juin 1973. La firme BBL est impliquée depuis 20 ans dans les différents aspects du génie et de la planification. Au cours des dernières années, elle s'est aussi distinguée dans la gestion de projets et la gérance de construction de projets d'envergure.

SAINT-ARNAUD, Raymond, Laval '61, a récemment été nommé administrateur au Bureau de la Corporation Professionnelle des Avocats du Québec (Conseil Général du Barreau).

M. Saint-Arnaud est professeur agrégé à la Faculté des Sciences de l'Université Laval, et directeur adjoint du Département de Génie Électrique de cette faculté.

TERREAULT, Charles, Poly '59, vice-président de la division du Génie à la compagnie Télébec et ingénieur en chef pour la Région Est de Bell Canada, a été nommé récemment vice-président, responsable de la division des systèmes du Laboratoire des Recherches Bell-Northern au Québec.

Le Laboratoire, qui sera situé à l'Îles-Scurs, poursuivra initialement des travaux d'études et de planification sur les systèmes pour les compagnies Bell Canada et Northern Electric Limitée. Les études porteront sur l'avenir de la téléphonie et sur les systèmes de télécommunications en relation avec la transmission, la distribution et l'entretien.

MONTELE

50
1924/1974

outil

de grandes réalisations



Stadium du Parc Jarry, Montréal



La Cité des Jeunes, Rivière-du-Loup



Place de la Justice, Montréal



Hôpital Youville, Rouyn



Grand Théâtre de Québec



La Cité d'Alma

L'équipement de distribution électrique Montel fait partie de ces réalisations de chez nous.

Sa précision, son efficacité et près de 50 ans d'expérience sont également appréciés en d'autres pays; entre autres à Formose, au Honduras, en Tunisie, au Togo, au Dahomey et en Côte-d'Ivoire.

Voyez une installation MONTEL. Vous conviendrez de sa qualité.



MONTEL INC.

Siège social et usine :

Montmagny, Qué., Canada
C.P. 130, Montmagny, Qué. G5V 3S5
Tél. : (418) 248-0235 Téléc. : 011-3419

Bureaux de ventes :

Montréal, Qué., Canada
515 boul. Lebeau, St-Laurent, Qué.
H4N 1S2
Tél. : (514) 332-9110 Téléc. : 05-826550

Toronto, Ont., Canada
105 Davenport Road — Suite 203
Toronto, Ont. M5R 1H6 Canada
Tél. : (416) 964-6325 Téléc. : 068-552

CARNET

TESTE, Gilles, Sherbrooke '62, a été nommé directeur du nouveau service de contrôle de l'environnement de Warnock Hersey International Limitée, division des services professionnels, Montréal. M. Teste possède plus de douze années d'expérience dans tous les secteurs du contrôle de l'environnement.

Le nouveau service, qui englobe la section de l'analyse de l'environnement de la division des services professionnels, complète les services de consultation, de génie et de technique de cette entreprise à l'intention de l'industrie et du gouvernement.

VALADE, Jacques L., Poly '62, professeur au département d'ingénierie de l'Université du Québec à Trois-Rivières, s'est vu décerner par le Conseil National de Recherches du Canada un « Senior Industrial Fellowship ». Durant les deux prochaines années, il œuvrera à la Compagnie Internationale de Papier du Canada, usine de Trois-Rivières, à titre de cadre dans les Services techniques quant aux problèmes se rapportant à la conservation de l'énergie, à la récupération des fibres, des produits chimiques et de divers sous-produits.

VÉZINA, Jean, Poly '68, est maintenant à l'emploi de la firme d'ingénieurs-conseils Beaulieu, Poulin, Robitaille & Associés.

ÉVÉNEMENTS À VENIR (suite de la page 24)

AQTR

(Association Québécoise des
Techniques Routières)

10^e CONGRÈS ANNUEL
13-14 mars 1975

Auberge des Gouverneurs
Trois-Rivières

Sous les thèmes « CONCEPTION » — « RÉALISATION » — « CONSERVATION », différents aspects du transport, de la circulation et de la technique routière y seront traités.

Info : M. Yvan Lavoie, ing.
Ministère des Transports
Sols et Matériaux
878, rue de Tonnancourt
Trois-Rivières, Québec
Tél. : (819) 379-5501

ou : M. Pierre Gilbert, ing.
Montréal, Québec
Tél. : (514) 384-6410 — poste 68



LA COMPAGNIE MINIERE QUEBEC CARTIER

SURINTENDANT DE MINE
Mont Wright, Qué.

Nous sommes à la recherche d'un surintendant de mine à ciel ouvert dont les responsabilités seront de coordonner et surveiller des Contremaîtres généraux, Contremaîtres et environ 400 travailleurs qui s'occupent de l'exploitation minière 24 heures par jour. En outre, il doit préparer l'horaire des équipes de travail. Le candidat bilingue doit posséder une expérience relative à ce genre de travail et, de préférence, posséder un diplôme universitaire. Cette mine est pourvue d'équipements lourds très modernes (foreuses 12 1/4", pelles électriques 16 et 20 verges, camions de 150 tonnes, etc.). Il relève du Surintendant divisionnaire de la mine.

Excellentes possibilités pour les candidats intéressés à faire carrière dans l'industrie minière. Plan d'avantages sociaux. Allocation nordique de \$150 par mois aux personnes mariées et de \$135 par mois aux célibataires. Les facilités de logement, services publics et éducatifs sont disponibles à la nouvelle ville de Fermont. Frais de déménagement payés.

Faire parvenir votre curriculum vitae au

SUPERVISEUR DE L'EMBAUCHAGE
LA COMPAGNIE MINIERE QUÉBEC CARTIER
PORT CARTIER, QUÉBEC.

Demandez cette brochure



qui vous indiquera
comment obtenir un prêt
de la BEI en vue d'établir,
de développer ou de
moderniser votre
entreprise.

**BANQUE D'EXPANSION
bej INDUSTRIELLE**

Bureaux régionaux:

1583, rue Hollis, Halifax, N.-É., 161, Av. Portage, Winnipeg, Man., R3B 0Y4
800, carré Victoria, Montréal, P.Q., 900, rue West Hastings, Vancouver, C.-B. V6C 1E7
250, Av. University, Toronto, Ont., M5H 3E5 60 succursales au Canada

REVUE DE L'ANNÉE 1974

(Le premier chiffre désigne le numéro de la revue, le second la page)

DOCUMENTATION

- Le rayonnement de l'École Polytechnique à l'occasion du centenaire
par J. Bernard Lavigueur, ing. 298 11
- Les « ANNEAUX DE FER », chaînons de la coopération canadienne
par La Direction de l'information
Agence canadienne de développement international 300 30
- Comment écrire un rapport utile
par G.-Réal Boucher, ing. 302 16

GÉNIE CIVIL (environnement)

- Utilisation de déchets pour la fabrication de bétons spéciaux et de matériaux de construction
par André-G. Côté, ing., Luc Lachance, ing.,
André Picard, ing., et Michel Pigeon, ing. 302 10

GÉNIE CIVIL (hydraulique)

- La génération et l'analyse de la houle irrégulière en laboratoire
par Yvon Ouellet, ing., D.Sc. 303 23

GÉNIE CIVIL (mécanique des sols et géotechnique)

- Les problèmes de stabilité dans les dépôts argileux du Québec
par Pierre La Rochelle, ing., Ph.D.,
F.A. Tavenas, Dr ing., et
Marius Roy, ing., D.Sc. 299 4
- Consolidation des argiles
par André A. Loiselle, ing., M.Sc. 299 16

GÉNIE CIVIL (transport)

- Nouvel aéroport international de Montréal — Design et construction des pistes et installations connexes
par Dr G.Y. Sebastyan 297 2
- Transport supersonique — « LE CONCORDE »
par Roger Chevalier,
Ingénieur Général de l'Air 301 2

GÉNIE ÉLECTRIQUE

- La participation du Canada à la réglementation internationale des télécommunications
par Gérard Matte, ing. 297 26

- La télédétection des ressources terrestres
par Joseph MacDowall, P.Eng., et
Jean-Claude Henein, P.Eng. 300 3
- Télétransmission de données hydrométéorologiques au moyen du satellite ERTS
par Marc Desruisseaux, ing. 300 13
- La télédétection : une technique à privilégier dans la gestion de la ressource eau
par Guy Rochon, ing., M.Sc., et
José Llamas, ing., Ph.D. 300 20
- Un nouveau câble de communications entre le Canada et l'Europe
par Roland Prévost 301 12
- L'alimentation de puissance par trolley augmente le rendement des camions diesel-électriques dans les mines
par Réjean Gagnon, ing., et
Fernand Rochefort, ing. 302 2

GÉNIE INDUSTRIEL

- L'analyse de la valeur
par R. Marcel Prévost, ing.,
Maurice Poupard, ing., et
Laurent Villeneuve, ing., M.Eng. 301 16

GÉNIE MÉTALLURGIQUE

- Application de la mécanique de la rupture aux structures de l'ingénieur
par D. Robert Hay et
Jacques Masounave 304 4

INFORMATIQUE

- Optimisation des réseaux d'ordinateurs
par J.A. Schwarz daSilva, ing. 297 18

PROFESSION

- Éditorial
par Roger P. Langlois, ing. 298 3
- La science et les ressources au service de l'homme et du milieu
par Emeric G. Léonard, ing. 298 13

RESSOURCES

- L'évolution du mécanisme de formation des prix du pétrole brut dans le monde
par Philippe Hervieu et Jean-Pierre Pellegrin 303 3
- Le charbon — Solution à la crise d'énergie
par Vladimir Hucka, ing., Ph.D. 304 16

LABORATOIRE DE BÉTON LTÉE

Contrôle qualitatif — Épreuve des matériaux

TÉL : 729-6394

3800 EST, BOUL. MÉTROPOLITAIN, MONTRÉAL, QUÉ. H2A 1B8



Etude géotechnique
Contrôle de Béton - Sols - Asphalte

Laboratoire B-Sol Ltée

229, BOUL. LASALLE
BAIE COMEAU, QUÉ.
TEL. 296-5670 - 296-6711

520, AVENUE OTIS
SEPT-ÎLES, QUÉ.
TEL. 962-7096

WARNOCK HERSEY INTERNATIONAL LIMITED
DIVISION DES SERVICES PROFESSIONNELS

Services de consultation
Études géotechniques
Métallurgie et analyses chimiques
Essais physiques • Expertises
Contrôle qualitatif des matériaux

Vancouver Regina Winnipeg Hamilton
Toronto Montréal Saint John Halifax
États-Unis Amérique du Sud Europe Asie



Les Laboratoires
Ville Marie Inc.

Géotechnique-Matériaux

1875, Boul. INDUSTRIEL, VILLE DE LAVAL H7S 1P5 QUÉBEC TEL: 514/663-8180

Répertoire des Annonceurs

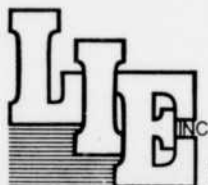
- 26 Banque d'Expansion Industrielle
12 Bouthillette & Parizeau
-
- 14-15 Canadian Johns-Manville Co. Ltd.
2 Carrier Air Conditioning (Canada) Ltd.
13 Centre de Recherches pour le Développement International
- 23 Communauté Urbaine de Montréal (Bureau de Transport Métropolitain)
- 26 Compagnie Minière Québec Cartier, La
21 Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.
24 Consolidated Engines & Machinery Ltd.
-
- 28 Desjardins + Sauriol & Associés
-
- 13 Electrovert Ltée
-
- C II Hewitt Équipement Limitée
-
- C IV International Harvester Co. of Canada, Ltd.
-
- C III Jenkins Bros. Limited
-
- 28 Laboratoire B-Sol Ltée
28 Laboratoire de Béton Ltée
28 Laboratoire d'Inspection et d'Essais Inc.
28 Laboratoires Ville Marie Inc., Les
12 Lalonde, Girouard, Letendre & Associés
12 Lalonde, Valois, Lamarre, Valois & Associés, Inc.
-
- 25 Montel Inc.
21 Mon-Ter-Val Inc.
-
- 21 Quéformat Ltée
-
- 12 Racey, Mac Callum & Bluteau Ltée
-
- 24 Studio Lausanne Inc.
-
- 21 Trudeau, Gascon, Lalancette et Associés
-
- 28 Warnock Hersey International Limited



Desjardins+Sauriol
& Associés

Ingénieurs-conseils

400, Boul. LABELLE, VILLE DE LAVAL H7V 2S7 QUÉBEC TEL: 514/661-9221



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

8594 LAFRÉNAIE
MONTREAL 45E
TEL: (514) 325 3040

2660, CHEMIN STE FOY
CP 9220 QUÉBEC 10
TEL: (418) 653 8704

335, ST-HUBERT
JONQUIÈRE
TEL: (418) 547 5719

LABORATOIRE D'INSPECTION ET D'ESSAIS INC.



JENKINS S'Y CONNAÎT EN VALVES

**les
grosses
et les petites**

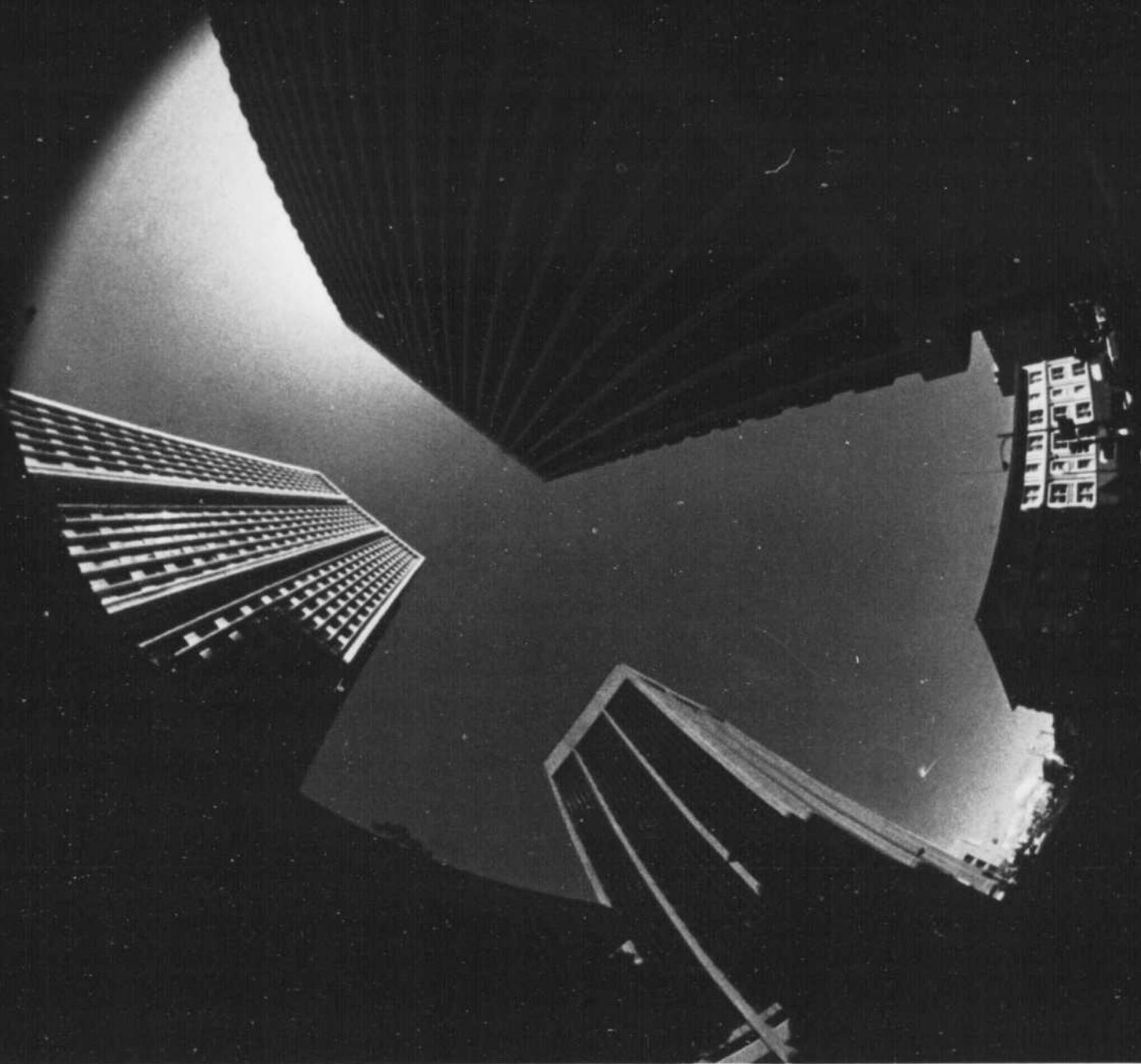
Jenkins Bros. Limited, Lachine, Qué.
Bureaux de vente: Halifax, Québec, Lachine, Toronto,
Burlington, Winnipeg, Edmonton, Vancouver.

JENKINS

Le spécialiste en valves



Jenkins Bros.



Les turbo-génératrices de secours Solar aident à garder le ciel bleu.

De nos jours, nous avons tous la responsabilité de garder l'air respirable et le ciel bleu. Même en cette période de crise de l'énergie, la pollution de notre atmosphère est encore à craindre.

Les groupes électrogènes sont aussi touchés par cette situation.

L'échappement des turbo-génératrices Solar à gaz pollue beaucoup moins l'atmosphère que celui des groupes qui utilisent un moteur à piston. C'est là un avantage très important à l'heure actuelle, alors que nous devons toujours prévoir la possibilité d'une panne partielle ou totale. En effet, plus les

groupes électrogènes de secours sont utilisés en grand nombre (dans les aéroports, les hôpitaux, les centres d'informatique, les usines et les édifices à bureaux), plus il faut tenir compte de la protection de l'environnement. Les règlements relatifs à la pollution de l'air restent toujours les mêmes, pannes de courant ou pas.

Solar a réalisé un film de douze minutes intitulé « Toward Bluer Skies » qui illustre pourquoi la turbine à gaz est un moteur plus favorable que les autres à la qualité de la vie et à celle de l'air que nous respirons. Ce film, ainsi qu'un commentaire détaillé, sont à votre disposition si vous désirez les

présenter aux membres de votre entreprise.

Les turbines à gaz possèdent cependant beaucoup d'autres avantages par rapport aux autres groupes électrogènes de secours. Pour obtenir plus de renseignements, il suffit d'écrire à : Solar, International Harvester Canada, Service W-405, 1, Place du Commerce, Montréal, Québec H3E 1A2. Vous pouvez aussi téléphoner à l'un de nos bureaux dans les principales villes du pays. Nous aimerions vous montrer comment les turbo-génératrices de secours à gaz peuvent aider à rendre l'air plus respirable et à garder le ciel bleu.



Solar Gas Turbines

... pour garder au ciel sa pureté